Santé environnement

Impacts sanitaires du changement climatique en France

Quels enjeux pour l'InVS ?

INSTITUT
DE VEILLE SANITAIRE

Sommaire

Abréviations 2

Synthèse 3

1. Introduction 5

2. Contexte climatique et environnemental 6

2.1 Changements climatiques observés 6

2.2 Projections climatiques 7

2.3 Changements abrupts 10

2.4 Changements globaux 10

3. Méthode pour la sélection des risques sanitaires potentiellement impactés par le changement climatique 11

3.1 Champ d'étude 11

3.2 Sélection des risques 11

3.3 Limites de la démarche 12

4. État des lieux des risques potentiellement impactés par le changement climatique en France métropolitaine et des systèmes de surveillance associés 13

4.1 Événements extrêmes 13

4.2 Modifications de l'environnement 18

4.3 Maladies infectieuses 27

5. Perspectives 30

5.1 Développer les outils de surveillance, d'alerte et de veille scientifique 30

5.2 Mieux articuler les liens avec la recherche 31

5.3 Surveiller les effets sanitaires des actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des actions d'adaptation 31

5.4 Développement de l'interdisciplinarité 32

5.5 Développer des collaborations internationales 32

Références bibliographiques 33

Annexe 1 – Exemples de démarches utilisées dans la littérature pour identifier les risques sanitaires associés aux changements climatiques 41

Annexe 2 – Actions prioritaires de santé publique listées dans l'avis du Haut conseil de la santé publique relatif aux risques pour la santé liés aux effets qualitatifs du changement climatique 45

Annexe 3 – Principales caractéristiques des scénarios du Giec 46

Annexe 4 – État de la littérature sur le changement climatique et la santé 47

Annexe 5 – État des lieux, épidémiologie et capacité des systèmes de surveillance des maladies infectieuses susceptibles d'être impactées par le changement climatique 48

Annexe 6 – Glossaire 53

Impacts sanitaires du changement climatique en France

Quels enjeux pour l'InVS ?

Rédaction

Mathilde Pascal, Département santé environnement, Institut de veille sanitaire (InVS)

Contributions

- Dounia Bitar, Henriette de Valk, Christine Campèse, Département des maladies infectieuses, InVS
- Dominique Dejour-Salamanca, Arnaud Tarantola, Département international et tropical, InVS
- Arlette Danzon, Claire Fuhrman, Marie-Christine Delmas, Département des maladies chroniques et traumatismes, InVS
- Loïc Josseran, Martine Ledrans, Laurent Filleul, Département de la coordination des alertes et des régions, InVS
- Anne-Catherine Viso, Direction scientifique, InVS
- Annamaria Antics, Pascal Beaudeau, Christophe Declercq, Frédéric Dor, Daniel Eilstein, Claire Gourier-Frery, Karine Laaidi, Sylvia Médina, Yvon Motreff, Philippe Pirard, Sandra Sinno-Tellier, Blandine Vacquier, Département santé environnement, InVS

Abréviations

CépiDc	Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès
CIM	Classification internationale des maladies
Cire	Cellule de l'Institut de veille sanitaire en région
CnamTS	Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés
Cnev	Centre nationale d'expertise sur les vecteurs
CNR	Centres nationaux de référence
CO	Monoxyde de carbone
CO_2	Dioxyde de carbone
Giec	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIS	Groupement d'intérêt scientifique
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
InVS	Institut de veille sanitaire
MDO	Maladie à déclaration obligatoire
NO_2	Dioxyde d'azote
O_3	Ozone
OMS	Organisation mondiale de la santé
Onerc	Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique
Peraic	Préparation en réponse aux accidents industriels et catastrophes
PESETA	Projection of economic impacts of climate change in sectors of the European Union based on bottom-up analysis
PM_{10}	Particules inférieures à 10 µm
Sacs	Système d'alerte canicule et santé
SO_2	Dioxyde de soufre
Sniiram	Système national d'informations interrégimes de l'Assurance maladie
Tiac	Toxi-infections alimentaires collectives
UV	Ultraviolet

Synthèse

Il est aujourd'hui admis que le changement climatique affectera la santé humaine, selon des mécanismes directs et indirects [1-3]. Depuis le premier rapport du Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), les observations et les modélisations permettent une compréhension accrue des changements climatiques observés et projetés, et de leurs impacts sur l'environnement et la société. Ces changements interviennent dans un contexte de perturbations environnementales, démographiques et sociales et de globalisation économique.

Les observations montrent actuellement une élévation de la température moyenne annuelle à un rythme sans précédent. Onze des 12 années de la période 1995-2006 se situent parmi les 12 années les plus chaudes depuis 1850. Le réchauffement est plus marqué depuis 50 ans, avec une augmentation de 0,13 degrés par décennie [0,10-0,16 °C] entre 1956 et 2005. Le Giec a conclu en 2007 que la probabilité que le réchauffement climatique actuel soit dû à l'activité humaine était supérieure à 90 % [4]. La hausse de la température moyenne simulée par les différents modèles de climat d'ici 2100 pourrait être comprise entre 1,1 et 6,4 °C [4].

Plusieurs risques sanitaires et évènements environnementaux susceptibles d'être exacerbés par le changement climatique sont classiquement identifiés dans les rapports français [5,6] et européens [7-9] : émergence ou réémergence de maladies infectieuses, augmentation en fréquence et en intensité des évènements extrêmes, modifications profondes de l'environnement. En s'appuyant sur la littérature et sur son expertise interne, l'Institut de veille sanitaire (InVS) s'est attaché à expliciter pour chaque risque l'état des connaissances actuelles, à identifier et à décrire les systèmes de surveillance et d'alerte existants, et à identifier les questions posées par le changement climatique en terme de connaissances et de surveillance.

Les principales conclusions montrent que l'impact attendu du changement climatique ne justifie pas le développement de nouveaux dispositifs de surveillance. Cependant, les systèmes existants peuvent être renforcés, par exemple :

- faire des analyses systématiques et standardisées de l'impact sanitaire des évènements extrêmes à court, moyen et long terme. Ceci nécessite de définir des indicateurs d'impact sanitaire et social adaptés à l'action de santé publique ;
- quantifier les interactions entre pollution de l'air et température ;
- développer la dimension population et habitat ;
- développer des outils pour la prise en compte de l'impact des politiques de réductions des gaz à effet de serre dans le domaine de la pollution de l'air, de l'habitat, de l'urbanisme ;
- encourager les programmes de recherche et notamment les variations de modalités d'exposition avec les changements sociétaux et environnementaux sur les risques hydriques, l'exposition aux UV, aux produits chimiques…

Au-delà des propositions spécifiques à chaque risque, des recommandations générales ont également été formulées.

Sur le plan de la surveillance

Il est important d'assurer la pérennité des systèmes de surveillance et d'alerte existants, la qualité et l'accessibilité des données. Cela doit également passer par une meilleure mise en relation et en cohérence des systèmes de surveillance environnementaux et sanitaires, afin de permettre une surveillance intégrée et pertinente de la santé environnementale. À l'heure actuelle, la surveillance de l'exposition est souvent limitée à une surveillance de la contamination des milieux. Les changements du climat et de l'environnement pourraient cependant conduire à des modifications des comportements exposants. Ceci implique de mieux caractériser l'exposition et les impacts sanitaires, et de prendre en compte les comportements exposants, ce qui permettrait de mieux comprendre les impacts possibles et de mieux orienter les actions de prévention.

De plus, le changement climatique peut conduire à des situations hors de l'expérience historique, face auxquelles les systèmes de surveillance spécifiques peuvent être peu efficaces. La surveillance syndromique présente alors l'intérêt d'apporter des informations utiles pour la gestion de crise et de repérer des évènements inattendus. Elle génère également en routine des données épidémiologiques pouvant être exploitées dans le cadre de systèmes de surveillance traditionnels permettant de mieux comprendre les impacts à long terme.

Sur le plan de la connaissance

L'analyse systématique de l'impact des évènements extrêmes permettrait de mieux évaluer ces impacts futurs et d'orienter les mesures de prévention et de gestion et de les évaluer.

La prise en compte des impacts sanitaires actuels des politiques d'atténuation des émissions d'aérosols et de gaz à effet de serre est également un champ important pour la santé publique. Seule la prise en compte des gaz à effet de serre permet d'obtenir des modèles permettant d'expliquer les augmentations des températures observées depuis les 50 dernières années. Ces gaz sont émis par des activités humaines par ailleurs génératrices de services et de risques pour la santé humaine. Il faut développer des méthodes pour fournir aux décideurs des éléments leur permettant de retenir des politiques présentant le meilleur bilan sur le court et long terme.

Dans une logique plus globale et intégratrice de la gestion du risque, l'interdisciplinarité s'impose pour étudier des systèmes complexes et mettre en perspective les conséquences sanitaires des modifications environnementales, sociales et économiques. Au sein de l'InVS, ceci nécessite la mise en place de groupes de travail transversaux et l'élaboration de définitions partagées entre les spécialités. Le besoin d'interdisciplinarité se traduit également dans les interactions avec

la recherche. Dans de nombreux domaines, on constate qu'il existe un défaut de connaissances sur les interactions entre variabilité climatique, environnement et santé, ne permettant pas de statuer sur la réalité des risques et de leurs évolutions probables. Il est important d'encourager l'acquisition de données à des échelles de temps et d'espace adaptées à l'élaboration de politiques de santé publique.

Enfin, il faut signaler l'importance des collaborations internationales, à la fois pour favoriser le partage de connaissances et d'expériences, en exploitant notamment l'idée des "pays analogues", pays qui connaissent actuellement un climat similaire à celui qui est projeté dans les années à venir, mais aussi pour que les aspects sanitaires du changement climatique soient pris en compte dans les négociations et décisions internationales.

1. Introduction

Il est aujourd'hui admis que le changement climatique affectera la santé humaine, y compris en Europe [1-3], selon des mécanismes directs et indirects. Le changement climatique peut être considéré comme un modificateur de l'état des milieux et des vecteurs de pathologies, des expositions à des risques sanitaires, des comportements modifiants les expositions, de l'état de santé des populations, et des mouvements de populations. Le changement climatique pourrait ainsi aggraver les inégalités territoriales et les inégalités de santé, au plan mondial et national. Parallèlement, d'autres grands changements globaux se produisent, tels que l'évolution démographique par exemple.

Face à cette complexité, l'étude des impacts sanitaires du changement climatique s'appuie principalement sur les jugements d'expert. De nombreux rapports nationaux[1] recensant les risques sanitaires potentiels sont disponibles. Ils s'accordent tous sur trois types d'impacts principaux :

- une augmentation en fréquence et en intensité des événements climatiques extrêmes ;
- l'émergence ou la réémergence maladies infectieuses ;
- des modifications progressives de l'environnement et des modes de vie modifiant des expositions existantes, voire entraînant de nouvelles expositions.

Ces impacts potentiels désignent le changement climatique comme une menace pour la santé humaine. La sécurité sanitaire et la santé publique ont été identifiées comme la première finalité de la stratégie nationale française d'adaptation au changement climatique [10]. La surveillance est également une priorité listée dans l'avis du Haut conseil de la santé publique relatif aux risques pour la santé liés aux effets qualitatifs du changement climatique (annexe 2).

La surveillance en santé publique est "la collecte continue et systématique, l'analyse et l'interprétation de données essentielles pour la planification, la mise en place et l'évaluation des pratiques en santé publique, étroitement associée à la diffusion en temps opportun de ces données à ceux qui en ont besoin" [11]. Elle permet de détecter des épidémies, de décrire l'épidémiologie de maladies, de détecter des modifications d'épidémiologie, d'évaluer des hypothèses, ou encore d'évaluer des mesures de contrôles et de prévention. Elle est essentielle pour suivre les impacts du changement climatique, et pour contribuer au développement des politiques de santé publique, notamment pour intégrer les aspects sanitaires dans le choix des politiques d'atténuation.

Dans ce contexte, l'InVS a examiné les besoins suivants, sous l'angle de ses missions de surveillance et alerte :

- les besoins d'évolution ou d'adaptation des systèmes de surveillance et d'alerte, pour faire face aux modifications sanitaires engendrées par les modifications de l'environnement ;
- les besoins d'actualisation des connaissances sur les risques sanitaires et les facteurs susceptibles de les modifier.

En s'appuyant sur la littérature, ce rapport fournit un tableau synthétique des principaux risques sanitaires susceptibles d'être modifiés par le changement climatique en France. Il identifie pour chacun de ces risques, les systèmes de surveillance et d'alerte existants, et propose des orientations pour leur adaptation. Le plus souvent, les adaptations proposées peuvent être considérées comme des adaptations "sans regret", dans la mesure où elles sont utiles avec ou sans changement climatique.

[1] *Les démarches canadienne, australienne, française et américaine, qui illustrent différentes approches pour identifier les risques sanitaires liés au changement climatique, sont détaillées en annexe 1.*

2. Contexte climatique et environnemental

2.1 Changements climatiques observés

Le climat est une description statistique de la moyenne et de la variabilité de paramètres météorologiques (température, pluviométrie, vent…) dans une région donnée, sur des échelles de temps allant de quelques mois à plusieurs milliers d'années. On utilise classiquement 30 ans pour le calcul des normales climatiques [12]. La France métropolitaine connaît cinq grands types de climats (océanique, océanique altéré, continental, méditerranéen, et de montagne).

Les changements climatiques désignent une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes (généralement pendant des décennies ou plus). Si la température est la variable emblématique de ces changements, l'ensemble des paramètres climatiques (l'humidité, la nébulosité, les précipitations, la teneur en CO_2 de l'atmosphère) sont à considérer.

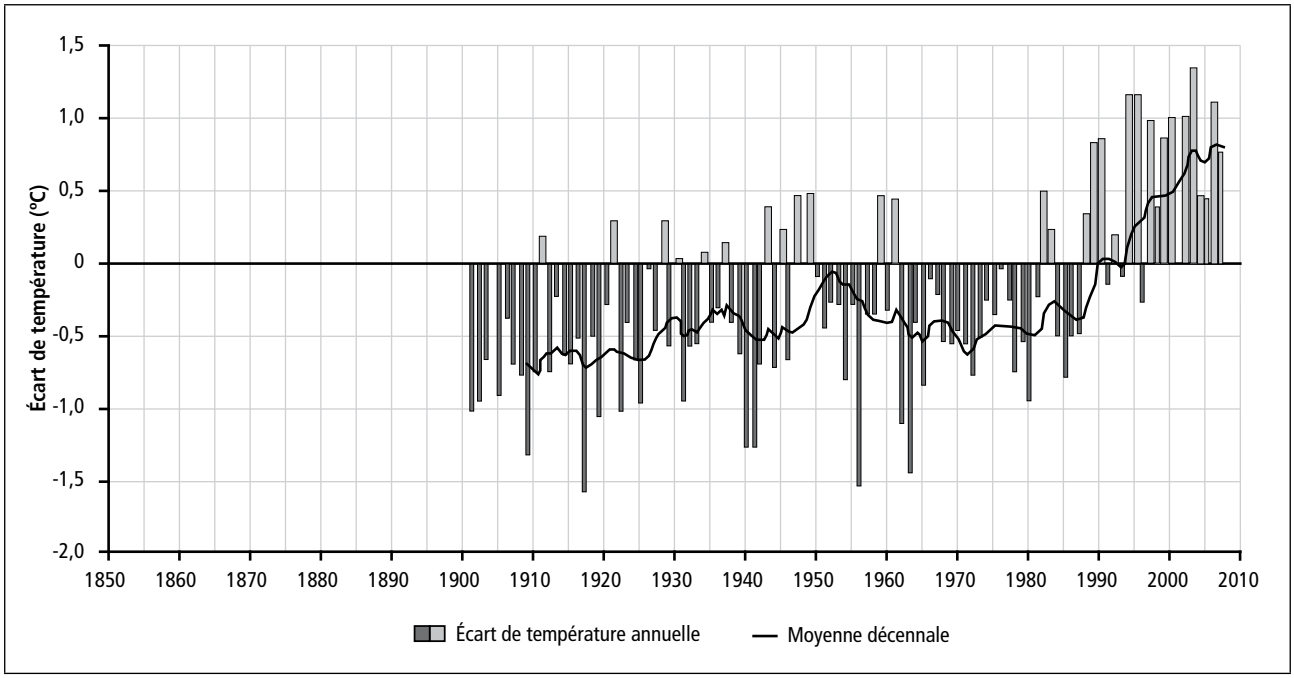
Par le passé, la terre a déjà connu des cycles de réchauffement et de refroidissement d'amplitudes et de durées différentes. Cependant, les observations montrent actuellement une élévation à un rythme sans précédent de la température moyenne annuelle. Ainsi [4] :

- 11 des 12 années de la période 1995-2006 se situent parmi les 12 années les plus chaudes depuis 1850. Le réchauffement est plus marqué depuis 50 ans, avec une augmentation de 0,13 °C par décade entre 1956 et 2005. Il est également plus marqué dans l'hémisphère Nord et sur les zones continentales. La figure 1 illustre l'évolution de la température moyenne annuelle sur la France métropolitaine, sous forme d'écart à la moyenne de la période de 1971 à 2007. Une évolution similaire est observée dans les territoires d'outre-mer (*cf.* exemple de la Guyane, figure 2) ;
- les précipitations ont augmenté significativement entre 1900 et 2005 en Europe du Nord, et diminué dans le pourtour méditerranéen ;
- les observations montrent également une diminution des surfaces neigeuses et de glaciers ;
- en moyenne, le niveau de la mer a augmenté à un rythme annuel de 1,8 mm [1,3-2,3] entre 1961 et 2003, et de 3,1 mm [2,4-3,8] entre 1993 et 2003 ;
- l'augmentation du taux de CO_2 dans l'atmosphère contribue fortement à l'acidification des océans. Le pH moyen des océans (8,1) a diminué de 0,1 depuis le début de l'ère industrielle.

Le rapport de mélange de CO_2 dans l'atmosphère en 2008 était de 38 % supérieur au taux de l'ère préindustrielle en 1750. Le taux de méthane était de 157 % supérieur au taux de 1750 et celui de N_2O supérieur de 19 % au taux de 1750 [13]. Ces augmentations sont principalement d'origine anthropique. Le forçage radiatif de l'atmosphère par l'ensemble des gaz à effet de serre persistants s'est accru de 26,2 % entre 1990 et 2008. Entre 2003 et 2008, le CO_2 est responsable de 85 % de cette augmentation. Seule la prise en compte de ces gaz à effet de serre permet de modéliser les augmentations observées des températures depuis les 50 dernières années. Le Giec a ainsi conclu en 2007 que la probabilité que le réchauffement climatique actuel soit dû à l'activité humaine était supérieure à 90 % [4].

| Figure 1 |

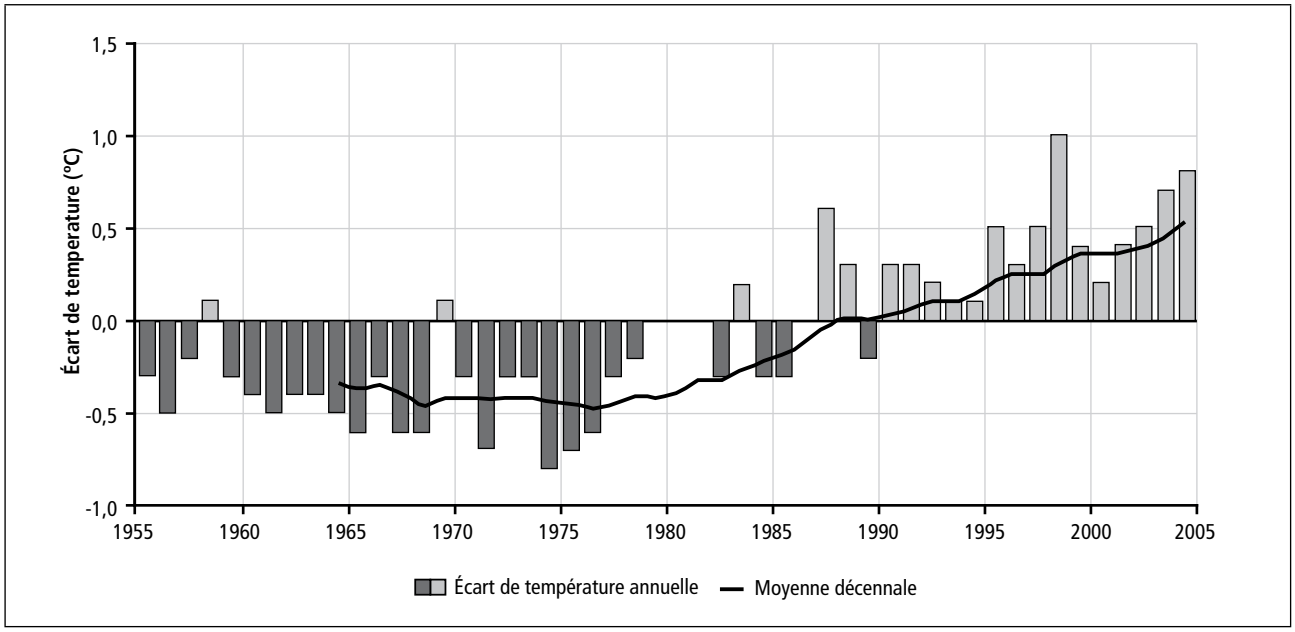
Évolution de la température moyenne en France métropolitaine sur la période 1900-2007 [14]



Source : Météo-France.

| Figure 2 |

Évolution de la température moyenne en Guyane sur la période 1955-2004 [14]



Source : Météo-France.

Sur la base de ces observations, le Giec a conclu en 2007 que [4] :

- les températures moyennes dans l'hémisphère Nord pendant la deuxième moitié du 20e siècle étaient très probablement (avec une probabilité de ne pas se tromper de plus de 90 %) supérieures à celles de toute autre période de 50 ans sur les 500 dernières années, et probablement les plus élevées des derniers 1 300 ans ;
- il était très probable que les jours et les nuits froides, les gelées, étaient devenues moins fréquentes dans la plupart des continents, alors que les jours et les nuits chaudes étaient devenues plus fréquentes ;
- il était probable (probabilité supérieur à 66 %) que les vagues de chaleur étaient devenues plus fréquentes sur la plupart des continents ;
- il y avait une bonne confiance (plus de huit experts sur 10 s'accordent sur le fait) dans le fait que les systèmes naturels associés à la neige, la glace et aux sols gelés, et les systèmes hydrologiques étaient déjà impactés par le changement climatique ;
- il y avait une très bonne confiance (plus de neuf experts sur 10 s'accordent sur le fait) dans le fait que de nombreux écosystèmes terrestres et marins étaient déjà impactés par le changement climatique.

Plusieurs indicateurs environnementaux (températures, niveau de la mer, précipitations, dates de floraison, dates de nidifications…) suivis par l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc) [14] et par l'Agence européenne pour l'environnement [15] montrent des évolutions cohérentes avec les évolutions globales en France métropolitaine et dans les territoires d'outre-mer.

2.2 Projections climatiques

Les modèles climatiques permettent de prédire les climats futurs en s'appuyant sur des scénarios d'évolution socio-économique qui servent à simuler les évolutions des émissions de gaz à effet de serre (annexe 3). Par exemple, le scénario A2 correspond à un développement économique à forte orientation régionale et une croissance démographique importante. Si ces modèles restent perfectibles, la réalité du changement climatique semble bien désormais acquise. La hausse de la température moyenne simulée par les différents modèles de climat d'ici 2100 pourrait être comprise entre 1,1 et 6,4 °C [4] (figure 3). En France métropolitaine, la température moyenne augmenterait de 0,83 °C [0,55-1,24 °C] en 2030 par rapport à 1990 selon le scénario A2 et de 1,37 °C [0,85-1,8 °C] en 2050 (tableau 1). La figure 4 traduit cette augmentation des températures en termes de déplacement géographique vers le sud, Paris connaissant un climat similaire à celui du Sud de la France actuel.

Les projections pour les précipitations (tableau 2) sont plus délicates. Les projections de précipitation en Europe connaîtraient deux tendances opposées, avec une augmentation des précipitations au Nord et une diminution au Sud. La France métropolitaine se situe dans la zone d'incertitude forte des modèles (figure 5).

Les îles, en particulier celles des territoires outre-mer, sont identifiées comme des territoires particulièrement vulnérables au changement climatique, avec au cours du 21e siècle une augmentation des températures de 1,4 à 5,8 °C selon les modèles (figure 6), une augmentation du niveau de la mer, des modifications du régime de précipitations, une augmentation possible de la fréquence et de l'intensité des cyclones tropicaux, et une intensification des conséquences d'El Niño [16].

| Tableau 1 |

Températures (minimum, moyenne et maximum °C) en 2030, 2050 et 2090 et différences par rapport au climat de 1990 pour la France métropolitaine, scénario A2 [17]

	1990	2030 A2	2050 A2	2090 A2
Minimum	2,95	3,81	4,26	6,15
Moyenne	11,41	12,24	12,78	14,63
Maximum	15,7	16,53	17,14	18,87
Minimum différence	-	0,55	0,85	2,24
Moyenne différence	-	0,83	1,37	3,23
Maximum différence	-	1,24	1,8	4,06

| Tableau 2 |

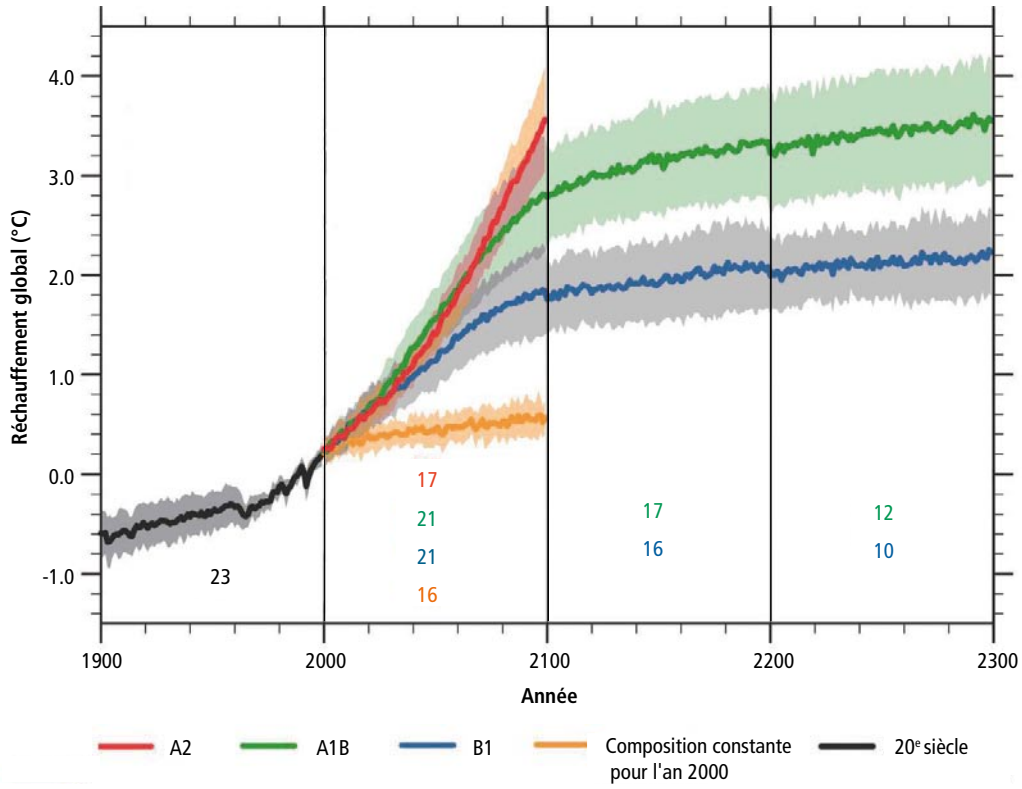
Précipitations* (minimum, moyenne et maximum mm/jour) en 2030, 2050 et 2090 et différences par rapport au climat de 1990 pour la France métropolitaine, scénario A2 [17]

	1990	2030 A2	2050 A2	2090 A2
Minimum	1,43	1,52	1,54	1,5
Moyenne	2,47	2,54	2,27	2,17
Maximum	4,93	5,12	4,75	4,45
Minimum différence	0	-0,4	-0,78	-1,2
Moyenne différence	0	0,07	-0,2	-0,3
Maximum différence	0	0,31	0,18	0,2

* *Cumul de neige et de pluie.*

| Figure 3 |

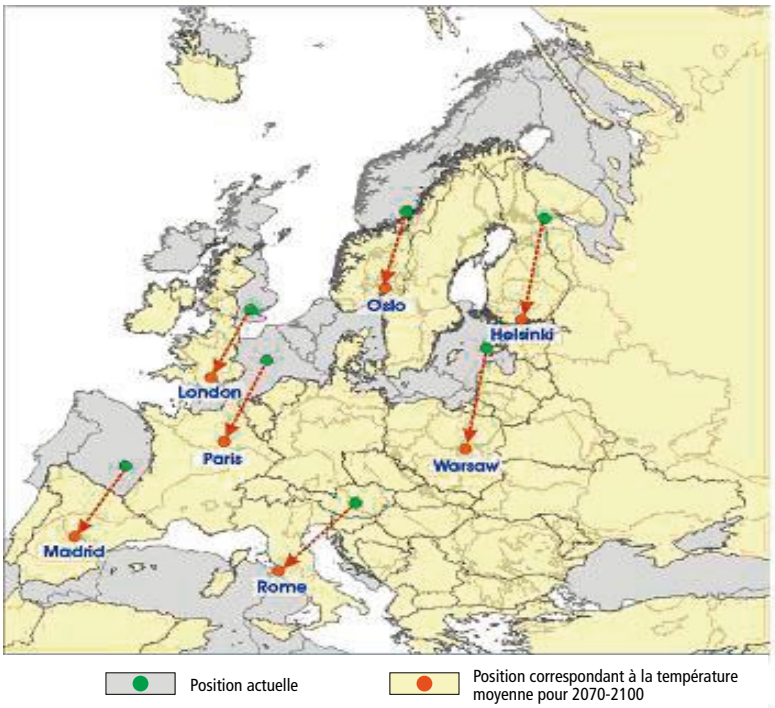
Étendue du réchauffement globale modélisée selon les scénarios d'émissions* [4]



Source : Solomon et al. *[4].*
* *Les nombres correspondent aux nombres de modèles différents utilisés pour chaque simulation.*

| Figure 4 |

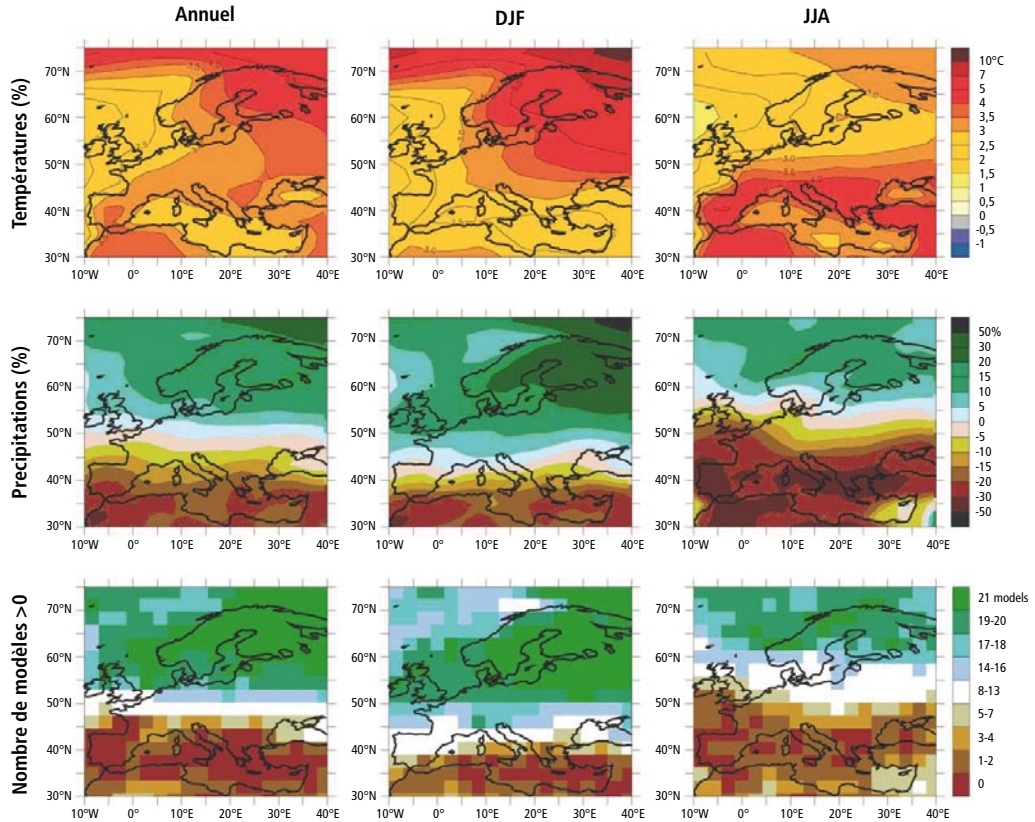
Déplacement du climat des villes européennes en 2070-2100 selon le scénario A2



Source : Hiederer et al. *[18].*

| Figure 5 |

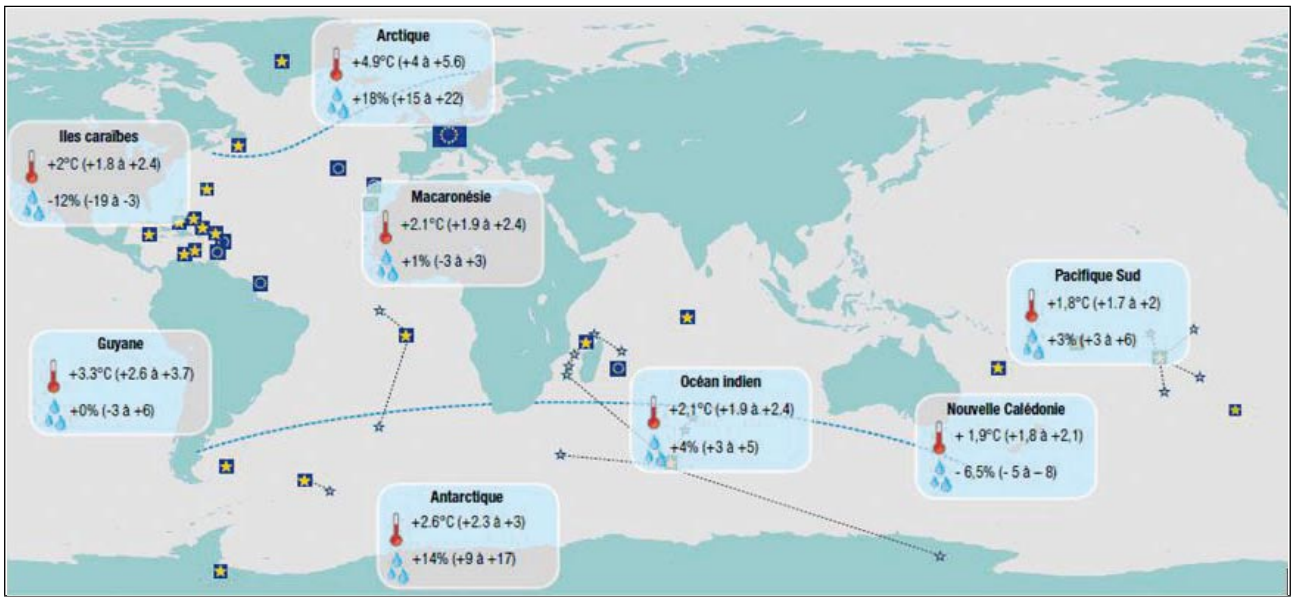
Projections des changements de températures (haut) et de précipitations (milieu) entre 1980-1999 et 2080-2099 en Europe, moyennée sur l'ensemble des modèles – Nombre de modèles sur 21 prédisant une augmentation des précipitations (bas)



Source : Solomon et al. *[4].*
DJF : décembre-janvier-février ; JJA : juin-juillet-août.

| Figure 6 |

Variations des températures et des précipitations moyennes entre 2080-2099 et 1980-1999 dans l'outre-mer européen* pour 21 modèles globaux et fourchettes d'incertitudes (25e et 75e quartiles), selon le scénario A1B du Giec



Source : International Union for the Conservation of Nature [19].
** La Macaronésie recouvre les îles Canaries, Madère, les Açores, les îles Selvagens et les îles du Cap Vert.*

2.3 Changements abrupts

Les changements abrupts du climat sont définis comme des changements majeurs intervenant en quelques décennies ou moins et perdurant plusieurs décennies. Les changements les plus couramment évoqués sont une montée brutale du niveau de la mer, un changement brutal du cycle hydrologique, un changement de la circulation Atlantique Nord, la fonte des glaces du Groenland, la disparition de la forêt amazonienne, des changements dans l'amplitude et la fréquence d'El Niño, un changement de la teneur en méthane dans l'atmosphère [20]. De tels changements auraient alors des conséquences sociales, environnementales et sanitaires qu'il est impossible d'évaluer aujourd'hui [21].

2.4 Changements globaux

Les changements globaux recouvrent les changements climatiques et l'ensemble des autres changements d'origine anthropique ayant des conséquences générales telles que l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, la diminution de biodiversité, les modifications des systèmes hydrologiques et de l'approvisionnement en eau douce, la dégradation des sols et les pressions exercées sur les systèmes de production vivrière. Tous ces changements environnementaux, sociétaux et économiques conduisent à une fragilisation des systèmes humains ou naturels et aggravent potentiellement la vulnérabilité au changement climatique.

D'un point de vue sanitaire, un facteur aggravant important est l'évolution démographique, qui se dessine nettement sur le long terme. En 2050, la population française pourrait atteindre 70 millions d'habitants (+15 % par rapport à 2005, scénario central). L'augmentation de la population connaîtrait de fortes variations régionales, les régions les plus concernées étant le Sud (+32 %), le Grand Ouest (+22 %) et l'Ile-de-France (+13 %). Les personnes âgées constituent un groupe particulièrement vulnérable aux risques induits par le changement climatique, notamment par les événements extrêmes. Les projections de l'Institut national de la statistique et des études économiques pour 2030 concluent à un vieillissement de la population française quels que soient les scénarios choisis. Pour le scénario central, la part des personnes âgées de 60 ans ou plus passerait de 20,6 % en 2003 à 31,1 % en 2030 (soit une augmentation de plus de 7 millions de personnes). L'effectif des 75 ans et plus passerait de 4,2 à 8,3 millions de personnes entre 2000 et 2030 et celui des 85 ans et plus de 1,2 à 2,4 millions. La prolongation des projections à l'horizon 2050 montre que l'effectif des 60 ans et plus serait doublé par rapport à 2000, celui des 75 ans et plus triplé et celui des 85 ans et plus quintuplé [22].

Au niveau mondial, les estimations du nombre de personnes forcées de se déplacer en partie à cause du changement climatique donnent des chiffres variant de 25 millions à un milliard d'ici 2050 selon les sources. Ces déplacements de populations pourraient être temporaires, à l'exemple de l'ouragan Katrina en août 2005 qui a conduit au déplacement de plus d'un million de personnes. Cependant, ces migrations pourraient être le plus souvent définitives. Il n'existe pas de projections de l'impact du changement climatique sur le nombre de migrants en Europe ou en France.

Ce tableau global donne une idée de l'ampleur sans précédent des changements attendus, mais ne dessine pas une image de la diversité des situations qui seront rencontrées aux différentes échelles spatiales et temporelles.

3. Méthode pour la sélection des risques sanitaires potentiellement impactés par le changement climatique

3.1 Champ d'étude

Ce rapport s'est attaché à identifier les risques sanitaires susceptibles d'être modifiés par le changement climatique dans une échelle de temps permettant l'adaptation des systèmes de surveillance à moyen terme. Sur cette échelle de temps, l'adaptation donnerait des bénéfices immédiats en agissant sur des risques déjà existants ou quasi-certains. À plus long terme, pour les impacts, l'effort doit porter principalement sur l'atténuation, l'objectif étant de réduire l'amplitude du changement climatique. Les impacts potentiels à court terme des politiques d'atténuation et d'adaptation n'ont pas été systématiquement recherchés, mais sont discutés lorsqu'ils semblent particulièrement importants.

Dans ce rapport, la distinction France métropolitaine/territoire d'outre-mer n'est pas faite. La situation géographique particulière et l'existence de menaces spécifiques (par exemple : cyclones, hausse du niveau de la mer) des départements d'outre-mer, collectivités d'outre-mer et pays d'outre-mer, font qu'une réflexion devra être menée sur ce sujet.

3.2 Sélection des risques

L'estimation des impacts sanitaires du changement climatique nécessiterait trois étapes (figure 7) :
- évaluer le rôle du climat et de la variabilité climatique sur les différents déterminants de la santé ;
- projeter l'impact des modifications de ces variables climatiques, en intégrant éventuellement des notions d'adaptation ;
- caractériser les impacts du changement climatique sur les autres déterminants de la santé, en intégrant les aspects adaptation et atténuation.

Il serait possible de réaliser les deux premières étapes de manière partielle pour les risques pour lesquels on dispose de relation dose-réponse entre une variable météorologique et un effet sanitaire, par exemple températures extrêmes et mortalité. Cependant, pour la majorité des pathologies, l'impact même du climat actuel, en dehors de tout changement climatique, n'est pas connu. Il est donc très difficile de quantifier les impacts liés au changement climatique. Cette difficulté se traduit par un faible nombre de publications disponibles sur les impacts sanitaires du changement climatique. La majorité des publications sont des articles de position et très peu vont jusqu'à la quantification des impacts (annexe 4).

Pour ce rapport, il a été décidé de s'appuyer sur les documents existants en limitant le champ aux impacts pour lesquels :
- un minimum d'information validée est disponible ;
- l'impact est jugé important (gravité et population touchée) ;
- une action de santé publique est disponible.

La validité d'une information est assurée en s'appuyant sur des publications dans des revues à comité de lecture et des rapports d'institutions reconnues. Les projections des modifications de l'épidémiologie des maladies dues au changement climatique et aux autres changements et l'identification des possibilités d'action pour réduire les risques ont été menées qualitativement par une consultation interne à l'InVS.

Pour les pathologies non-infectieuses, une entrée par risques (événements extrêmes, milieux) a été retenue :
- pour les événements extrêmes : vagues de chaleur, vagues de froid, cyclones, tempêtes, inondations et feux de forêts ;
- pour les modifications de l'environnement : qualité de l'air, allergènes respiratoires, rayonnement UV, qualité de l'eau, habitat, sols, espèces végétales et animales potentiellement dangereuses (hors infectieux).

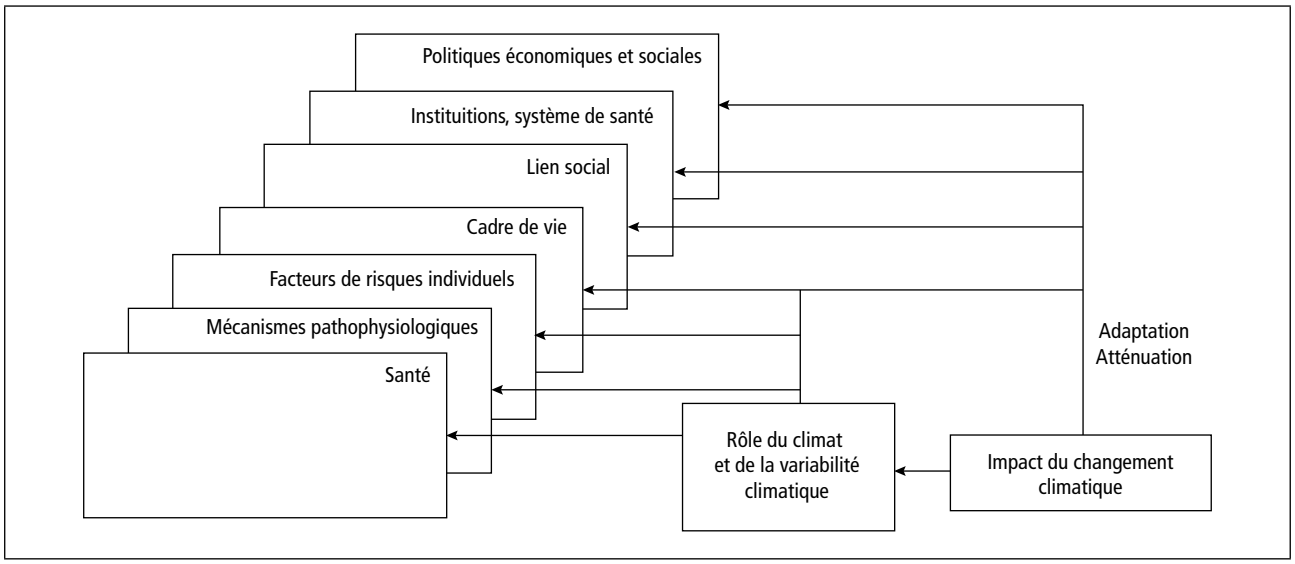
Pour les maladies infectieuses, une entrée spécifique par agent pathogène a été retenue, sur la base de la liste d'agents ou entités pathogènes[2] répertoriés au préalable lors d'un travail préliminaire de la Direction générale de la santé et du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer [23].

Quelle que soit l'entrée, les systèmes de surveillance existants ont été analysés en distinguant la surveillance de l'environnement, la surveillance des expositions et la surveillance des effets. Les résultats sont présentés sous forme :
- d'une description succincte des principaux systèmes de surveillance environnementale et/ou sanitaire existants ;
- d'une synthèse courte sur les impacts attendus, les références permettant d'approfondir le sujet si besoin ;
- d'une réflexion sur les besoins éventuels d'évolution des systèmes de surveillance ;
- d'une réflexion sur les besoins éventuels de connaissances supplémentaires.

[2] *Une entité pouvant être un groupe de pathogènes qui a les mêmes conséquences ; par exemple : les champignons/moisissures de l'habitat ont été regroupés dans une seule entité.*

| Figure 7 |

Impacts du climat et du changement climatique sur les différents déterminants de la santé, adapté de Kaplan [24]



3.3 Limites de la démarche

L'objectif de ce rapport est d'identifier des besoins d'adaptation pour la surveillance et l'alerte, besoins qui doivent se fonder sur des risques avérés. Il est probable que le changement climatique fasse apparaître d'autres risques que ceux considérés. La surveillance syndromique pourrait être un élément clef pour la détection de ces événements. Une meilleure utilisation de l'interdisciplinarité (épidémiologiste, météorologue, biologistes, entomologistes, sociologues…) est également nécessaire pour interpréter des signaux inattendus.

Ce rapport s'appuie sur les connaissances actuelles. En particulier, le rapport 4 du Giec sur les observations et les projections du changement climatique utilise sur la littérature publiée avant 2007. Des observations et des études plus récentes confirment les conclusions du rapport 4, en montrant parfois des sous-estimations de l'amplitude et du rythme des changements sur les températures, la fonte des glaces et la montée du niveau de la mer. De plus, l'augmentation des émissions de CO_2 est actuellement dans la fourchette haute des scénarios utilisés par le Giec. Les projections de températures pourraient être supérieures aux prévisions du rapport 4, et l'élévation du niveau de la mer pourrait ainsi dépasser un mètre dès 2100 [20]. Les conclusions de ce rapport devront être mises à jour au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances.

Enfin, la hiérarchisation des risques, initialement envisagée sur la base de critères classiques de santé publique (fréquence, gravité, tendance évolutive, potentiel évolutif, demande sociale ou politique, possibilité d'agir sur la pathologie ou le déterminant) n'a pu être menée à son terme en raison de difficultés méthodologiques. Celles-ci sont :

- la fragmentation introduite par la hiérarchisation, alors que les problèmes sont majoritairement complexes et en interaction ;
- les incertitudes, notamment sur le rythme du changement, qui ne permettent pas de dessiner un avenir "fixe".

4. État des lieux des risques potentiellement impactés par le changement climatique en France métropolitaine et des systèmes de surveillance associés

4.1 Événements extrêmes

Étant donné le caractère aléatoire des événements météorologiques extrêmes, un événement unique ne peut être relié au changement climatique. Cependant, le Giec conclut à une augmentation probable en fréquence et en intensité des événements extrêmes liés aux conditions météorologiques. D'autres types d'événements extrêmes non directement attribuables au changement climatique pourraient désormais intervenir dans un environnement dégradé et avoir ainsi des conséquences plus sévères. La capacité à anticiper et répondre à ces événements sera un élément clef de l'adaptation au changement climatique.

4.1.1 Vagues de chaleur

Les impacts des vagues de chaleur sur la mortalité et sur la morbidité sont aujourd'hui bien documentés en France [25,26]. Près de 15 000 décès ont été observés pendant la vague de chaleur de 2003, et près de 2 000 pendant la vague de chaleur de 2006.

4.1.1.1 État actuel de la surveillance

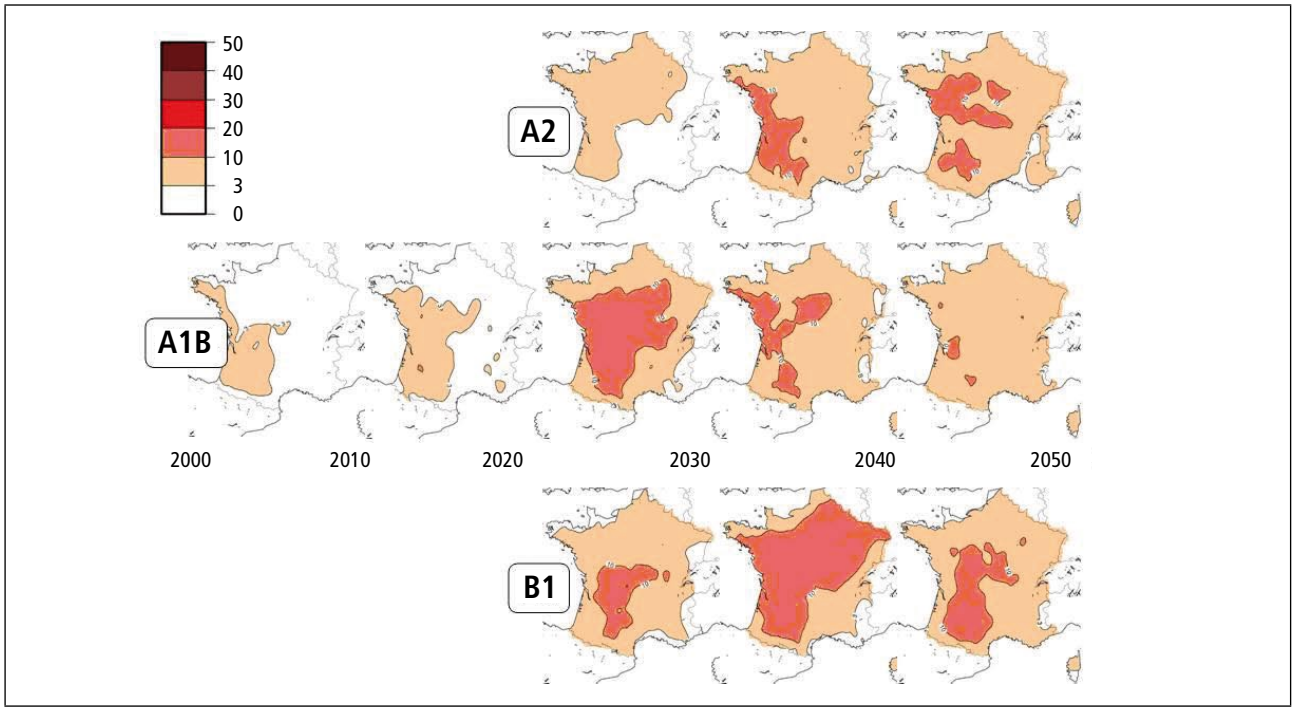
Depuis la vague de chaleur de 2003, la France active chaque été un Plan national canicule [27] s'appuyant sur un Système d'alerte canicule et santé (Sacs) et un suivi d'indicateurs sanitaires en temps réel [28]. Ce système a été conçu pour prévenir et réduire la mortalité et la morbidité pendant les vagues de chaleur. Les retours d'expérience depuis 2004 semblent indiquer que le plan contribue à réduire efficacement la vulnérabilité des populations. Différents résultats vont dans le sens d'un impact réduit de la canicule de 2006 par rapport à ce qui était attendu [26], avec notamment la disparition de l'effet d'emballement de la mortalité observé en 2003.

4.1.1.2 Impacts attendus

Le changement climatique devrait se traduire par une augmentation de l'intensité et la fréquence des vagues de chaleur [29]. La figure 8 montre l'évolution du nombre de jours de canicule prédit en France selon différent scénarios d'émissions jusqu'en 2050. En parallèle de l'augmentation des températures, la concentration des populations dans les zones urbaines et le vieillissement de la population vont conduire à une augmentation du nombre de personnes vulnérables à la chaleur. Les zones urbaines sont particulièrement sensibles du fait de l'amplification des températures, notamment nocturnes, par l'ilôt de chaleur urbain [30].

| Figure 8 |

Évolution du nombre de jours de canicule estivale en France entre 2000 et 2100 selon les scénarios A2, A1B et B1



Source : Météo-France.
Une canicule est définie comme une période au cours de laquelle la température dépasse les normales quotidiennes=moyennes de la période 1960-1989 de plus de 5 °C pendant au moins six jours consécutifs.
Les simulations sont disponibles jusqu'en 2100.

4.1.1.3 Propositions en terme de surveillance

Il n'existe actuellement pas de référence pour juger de la performance d'un système d'alerte canicule. Une comparaison internationale a mis en évidence de bonnes performances du Sacs comparé aux autres systèmes d'alerte canicule existants [31]. Le système fait par ailleurs l'objet d'évaluations et d'améliorations régulières de la part de l'InVS et de Météo-France. L'enjeu est désormais de le faire évoluer dans un contexte d'augmentation des températures, afin de pouvoir continuer à identifier les vagues de chaleur extrêmes, dangereuses pour la santé, tout en conservant un nombre réduit de fausses alertes. Les températures augmentent dans tous les départements français depuis les années 1960, et des températures qui étaient autrefois peu dépassées seront désormais de plus en plus souvent atteintes. La modification progressive des seuils d'alerte ne pourra cependant se faire que si des actions de fond sont mises en place pour réduire la vulnérabilité à la chaleur y compris en dehors des périodes d'alerte, par exemple en travaillant sur conception des villes, des habitations, des politiques de transport [32,33].

À l'heure actuelle, le Sacs ne couvre que les départements métropolitains. Un réchauffement des températures est cependant observé par Météo-France dans tous les territoires d'outre-mer sur les 50 dernières années. Il est vraisemblable que le changement climatique génère également plus de variabilité dans la distribution des températures, et donc plus d'événements extrêmes. On ne dispose pas d'articles sur l'impact de la chaleur sur des îles des Caraïbes ou du Pacifique. Des épisodes de chaleur en 2008 en Nouvelle-Calédonie et de 2009 à la Réunion semblent avoir été accompagnés d'un impact sanitaire faible sur la mortalité et la morbidité (les résultats sont en cours d'analyse). Les vagues de chaleur restent un risque mineur comparé à d'autres problématiques locales. Cependant, on ne peut pas exclure qu'une vague de chaleur très intense ait des conséquences plus importantes. Un lien fort doit être maintenu avec Météo-France sur ce sujet.

4.1.1.4 Propositions en terme de connaissance

Il faut poursuivre l'étude des facteurs de risque et l'identification des populations à risques pour promouvoir des mesures de prévention sur du moyen et long terme, à l'exemple de l'étude sur les îlots de chaleur urbain.

L'étude de la transition épidémiologique des relations température-morbidité de la population sera également à développer, dès que les jeux de données constitués seront suffisamment longs [34].

De manière plus prospective, il serait utile d'avoir des études sur l'impact des vagues de chaleur printanières ou automnales, avec l'hypothèse que ces événements extrêmes pourraient avoir un effet sur la santé *via* une modification de la pollution atmosphérique par exemple, ou encore sur la transmission de maladies infectieuses, ou sur l'adaptation physiologique.

4.1.2 Vagues de froid

L'augmentation moyenne des températures n'est pas incompatible avec la survenue d'événements exceptionnels comme les vagues de froid.

4.1.2.1 État actuel de la surveillance

Par le passé, la France n'a pas connu de vague de froid conduisant à un pic massif de mortalité, à l'image des vagues de chaleur. Cela n'exclut pas la possibilité d'un tel événement, mais l'absence d'expérience ne permet pas de définir un plan de réponse détaillé (le même problème se pose dans les autres pays européens). L'épisode de l'hiver 2009 a montré que les outils de surveillance syndromique étaient efficaces pour détecter rapidement une augmentation de la mortalité et de la morbidité, sans pour autant permettre de faire la part des différentes causes possibles (froid, maladies infectieuses…) [35].

4.1.2.2 Impacts attendus

De nombreux articles citent une baisse de la mortalité hivernale attendue grâce au changement climatique. Par exemple, au niveau européen, le projet Peseta estime que la diminution de la mortalité hivernale, assimilée à une mortalité liée à la baisse des températures, pourrait compenser l'augmentation de la mortalité estivale. Cependant, l'augmentation de mortalité observée en hiver peut être causée par de nombreux facteurs autres que la chute des températures : grippe, changement de régime alimentaire, baisse de luminosité… [36-38]. De très grandes disparités sont ainsi observées en Europe, les pays les plus touchés n'étant pas les plus froids. Entre 1988 et 1997, la plus forte mortalité hivernale est observée au Portugal (+28 % [25-31 %]), en Espagne (+21 % [19-23 %]) et en Irlande (+21 % [18-24 %]) [39]. Il est difficile de projeter l'impact du changement climatique sur l'évolution de la mortalité hivernale, et une meilleure compréhension des mécanismes sous-tendant la mortalité hivernale et la mortalité spécifiquement liée au froid est nécessaire.

Par ailleurs, la vague de froid de 1985 a entraîné une surmortalité de 1 039 décès (+13,3 %) pendant le mois de janvier en Île-de-France. Lors de l'hiver 2008-2009 particulièrement froid, un excès de mortalité de l'ordre de 6 000 morts par rapport à 2007-2008 a pu être observé en France, associé à des épidémies de grippes et de pathologies respiratoires [35]. De tels épisodes pourront continuer à se produire. La population pourrait s'habituer à des niveaux moyens de température plus élevés et se montrer plus sensible qu'à présent pour un même niveau de température, que ce soit par une diminution de son adaptation physiologique au froid ou par une moindre adaptation comportementale.

4.1.2.3 Propositions en terme de surveillance

Les vagues de froid sont caractérisées par un impact très étalé dans le temps, jusqu'à plusieurs semaines après le pic de froid. Les principales mesures pour protéger la population contre les effets du froid relèvent avant tout de la prévention sur le long terme, liées en particulier à l'isolation thermique des bâtiments (qui constitue par ailleurs un des axes principaux du plan de réduction des gaz à effet de serre) et à l'accès à une énergie propre et suffisante pour tous, au travers d'aides financières diverses. La plus faible mortalité hivernale observée dans les pays à climats froids tend à montrer l'efficacité de ce type de mesures de prévention. Un système d'alerte froid et santé, sur le modèle de la canicule, n'est pas pertinent. Cependant, des alertes météorologiques (fondées sur les niveaux de vigilance rouge ou orange de Météo-France) sont nécessaires, afin de mettre en garde la population lors de périodes de froid intense, et diffuser les conseils de prévention *ad hoc*. Pendant ces périodes, l'InVS décrira la situation sanitaire à partir des données de mortalité et de passages aux urgences à sa disposition, afin d'alerter si nécessaire les pouvoirs publics.

4.1.2.4 Propositions en terme de connaissance

Contrairement aux vagues de chaleur qui interviennent généralement en l'absence d'autre facteur de risque sanitaire, les études faites en France ou à l'étranger ont montré qu'il était difficile de faire la part du froid et des autres causes (infectieuses en particulier) sur

la surmortalité hivernale. Par ailleurs, il y a peu de vagues de froid historiques en France, en particulier avec des données sanitaires bien documentées. Celles dont on dispose ont été peu exploitées (1985, 2005 et 2009 notamment) et mériteraient des analyses plus approfondies. Des études sont nécessaires pour mieux décrire les vagues de froid et leurs impact sanitaires, comprendre les causes, les interactions avec les maladies infectieuses et les facteurs de risque.

4.1.3 Phénomènes localisés (cyclones, tempêtes, inondations, feux de forêts)

Le changement climatique devrait favoriser la survenue et l'intensité d'événements extrêmes localisés géographiquement tels que les inondations, les cyclones ou les feux de forêts. Ces phénomènes sont regroupés sous un même thème, car bien que nécessitant des approches de prévision, prévention et gestion différentes, ils mobilisent des outils similaires sur le plan épidémiologique.

Ces événements posent la question de la vulnérabilité, de la capacité de résilience et de l'adaptation des systèmes de secours à la répétition proche de ces phénomènes, de l'influence des actions choisies et de leurs modalités pour gérer les conséquences de ces événements sur les effets constatés.

4.1.3.1 État actuel de la surveillance

La surveillance et la prévention des risques est bien organisée en France, avec la mise en application des plans de prévention des risques naturels prévisibles [40]. Les vents violents, ouragans et cyclones sont suivis par la vigilance météorologique. L'équivalent pour les crues existe depuis 2001. Depuis 2007, Météo-France produit également une carte d'indice de risque météorologique de feux de forêt.

La surveillance des effets sanitaires en regard de ces événements est en cours de développement. À l'InVS, le programme de "Préparation en réponse aux accidents industriels et catastrophes" (Peraic) vise à intégrer l'InVS dans le jeu des acteurs opérationnels de la gestion des conséquences d'une catastrophe naturelle ou industrielle. Il a pour objectifs d'estimer l'impact sanitaire de ces événements à court, moyen et long terme, et d'identifier les facteurs qui le modifient et les populations plus à risque. Son but est d'apporter une information sur l'impact selon des modalités (notamment temporelles) qui la rendent utile à la gestion. Pour cela, l'InVS développe un programme d'analyse des sources d'information syndromiques provenant des services médicaux d'urgence, de pré-urgence, des données de mortalité informatisées, des données de consommation médicale provenant des données d'assurances maladies.

Par ailleurs, Peraic propose d'organiser le recueil des données qui doivent être collectées dans les suites immédiates de la catastrophe tant que cela est possible (données sur l'identification des personnes et sur les expositions avérées ou potentielles), en vue de suivis épidémiologiques futurs. De même, le programme travaille à l'établissement des moyens d'obtenir des niveaux de référence sanitaire pertinents en préparation de tels événements. Le programme doit aussi concentrer ses efforts sur la préparation d'outils de suivi à long terme des effets attendus et de leurs facteurs déterminants au sein des populations. Ces développements méthodologiques constituent la base de la création d'un véritable système de surveillance de l'impact des catastrophes.

Un système de surveillance n'étant pertinent que bien intégré dans les processus de gestion, Peraic s'attache, parallèlement au développement des méthodes, à intégrer l'InVS dans la structuration de l'organisation des acteurs pour une meilleure gestion des conséquences de l'accident en phase post-accidentelle. Il compte aussi travailler à l'utilisation et à la communication par les acteurs locaux, des résultats apportés par ses analyses de données.

4.1.3.2 Impacts attendus

Ces événements extrêmes localisés présentent des similarités dans leurs impacts. À court terme, les décès, les traumatismes dus à l'effet direct de l'événement et leur pronostic vital sont la principale préoccupation. Mais rapidement, les conséquences des dégâts provoqués par l'événement seront prédominantes dans la survenue de l'impact sanitaire. On doit donc s'attendre à observer :

- des traumatismes dus aux actions de réhabilitation, de nettoyage ou aux effondrements secondaires de bâtiments fragilisés ;
- des hypothermies, des intoxications au monoxyde de carbone (dû à l'utilisation inadéquate de groupes électrogènes et de chauffages de fortune), des infections d'origine hydrique, des déshydratations par difficultés d'approvisionnement en eau potable ;
- un impact sur la santé mentale des populations affectées (dépression, troubles anxieux, état de stress post-traumatique, augmentation de dépendance à l'égard de substances psycho-actives…).

Si l'événement désorganise complètement la société et atteint les instances de gestion, on peut s'attendre aussi à des actes de violence. À moyen et long terme, l'altération de la qualité de vie, la désorganisation du tissu social, les situations de stress psychologique et la dégradation de l'habitat se feront sentir sur la santé mentale (figure 9) et somatique.

› *Les tempêtes, ouragans et cyclones*[3]

Le changement climatique pourrait modifier l'intensité de ces événements. Les dangers immédiats inhérents aux cyclones sont les décès directs par accidents et traumatismes. Indirectement, les dégâts peuvent entraîner une impossibilité de recours aux structures de soins d'urgence par la rupture des voies de communication, par destruction de ceux-ci ou tout simplement du fait du nombre élevé de blessés mobilisant alors l'ensemble des structures de soins et leur personnel soignant. La destruction des infrastructures de vie peut aussi avoir un impact de santé important. Par exemple, l'utilisation inadéquate de groupes électrogènes ou de chauffage de fortune peut entraîner des intoxications au monoxyde de carbone comme cela a été le cas dans les suites immédiates de la tempête Klaus qui a touché le Sud-Ouest de la France en janvier 2009. Les actions de remises en état peuvent provoquer de nombreux traumatismes (par exemple : accidents de tronçonneuse, chutes de toit…). Des décompensations aiguës de pathologies chroniques sous-jacentes (traitées ou non) liées directement au stress occasionné par le cyclone ou à l'impossibilité de recourir au système de soin peuvent être observées [41,42]. Enfin, les conséquences matérielles de la catastrophe (perte de l'outil de travail, perte du domicile, perte financière importante) et les difficultés d'y remédier ont en elles-mêmes un impact important sur la santé, notamment mentale.

[3] *Tempête tropicale : la moyenne des vents sur une minute se situe entre 62 et 117 km/h.*
Cyclone : la moyenne des vents sur une minute est supérieure à 118 km/h.

› *Les inondations et les effets de l'élévation du niveau de la mer*

Le changement climatique est identifié comme un facteur conduisant à une aggravation probable du risque d'inondations, à la fois en terme de gravité et de probabilité de survenue [43]. Concernant l'élévation du niveau de la mer, le Conservatoire du littoral, s'appuyant sur une hypothèse moyenne d'une élévation du niveau marin de 22 cm en 2050 et de 44 cm en 2100, estime que les effets de l'érosion comme ceux de la submersion devraient avoir un impact limité en France, de l'ordre de 2000 hectares pour l'érosion et 36000 hectares pour la submersion (figure 10). Cela concerne peu de personnes exposées [44]. Les territoires d'outre-mer seront certainement plus exposés, notamment en Polynésie française où de nombreux atolls sont habités (*cf.* l'exemple d'autres îles du Pacifique [45]). On devrait aussi observer un accroissement de la fréquence des surcotes[4], avec un risque d'inondation accrue. Par exemple, une surcote de 1,40 m dans l'estuaire de la Loire deviendrait décennale si le niveau de la mer augmentait de 0,30 m [46].

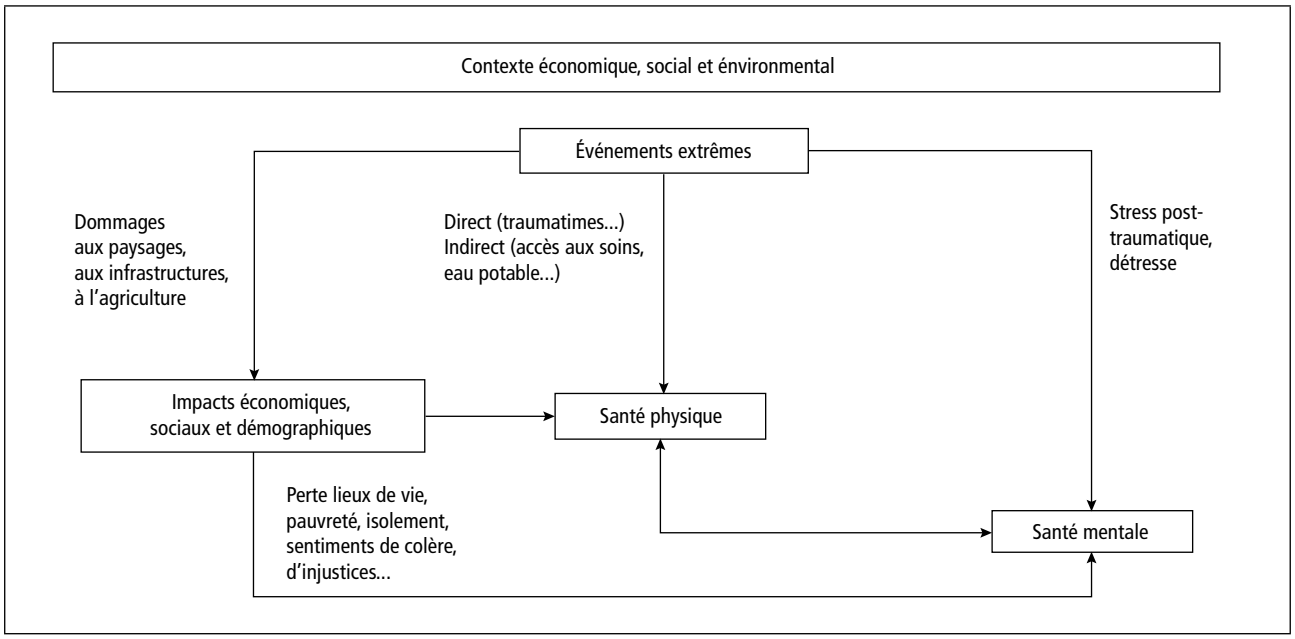
Les risques sanitaires identifiés sont essentiellement d'ordre :

- infectieux, par contamination de l'eau potable ou contact des personnes avec des eaux souillées ou détérioration des milieux de vie (moisissures, champignons dus à l'humidité chronique…) ;
- mental et somatique, par l'impact psychosocial des pertes matérielles du logement, de l'outil de travail, et de la détérioration des conditions de vie qui en découlent ;
- environnemental, par exemple par épandage de produits toxiques provoqué par l'inondation.

L'impact sur la santé mentale est important et ne doit pas être négligé, surtout en cas d'inondations de grande importance, durables ou répétées, impliquant des populations particulièrement sensibles, ou nécessitant des évacuations et des relogements [47,48].

| Figure 9 |

Impacts des événements extrêmes sur la santé mentale, adapté de Berry *et al.* [56]



› *Les feux de forêts*

Le changement climatique va accroître la durée de période de la sécheresse estivale propice aux incendies. Les impacts sanitaires à moyen et long terme des feux de forêts sont peu connus. Les fumées forment un mélange complexe de produits de combustion : monoxyde de carbone, formaldéhyde, acroléine, benzène, dioxyde de carbone (CO_2), oxydes d'azote, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), ammoniac, 2-furaldéhyde, particules inhalables et nanoparticules [49,50]. Les composés organiques émis pendant la combustion peuvent également contribuer à la formation d'ozone. En Asie et en Amérique du Nord, un lien a été documenté entre l'exposition à des concentrations élevées de particules suite à des feux et une augmentation des admissions hospitalière pour causes respiratoires et cardiovasculaires, principalement chez les asthmatiques, les personnes souffrant de broncho-pneumopathie chronique obstructive, les enfants et les personnes âgées [51-54].

Les conséquences matérielles des dégâts provoqués par l'incendie ont également un impact psychosocial important.

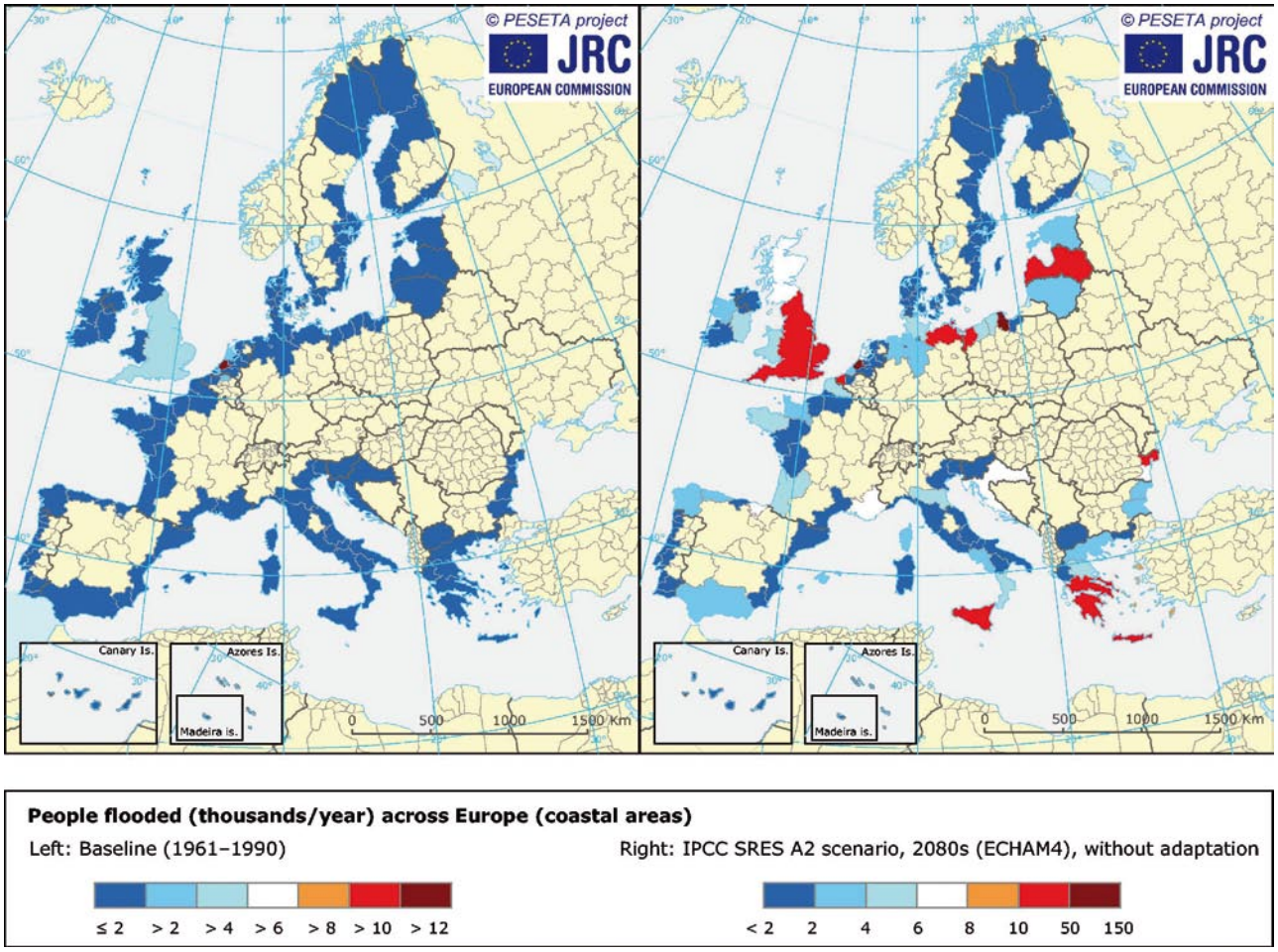
› *Les sécheresses*

Il existe peu d'étude sur les impacts des événements climatiques extrêmes de longue durée comme les sécheresses. En Australie, des impacts sociaux-économiques et des impacts sur la santé mentale sont documentés [55].

[4] *Élévation supplémentaire du niveau marin par rapport aux prévisions des marées. Elle est causée par les vents de mer, les dépressions atmosphériques et les vagues.*

| Figure 10 |

Populations impactées par des inondations liées à l'élévation du niveau de la mer en 1961-1990 (gauche) et 2080 (droite)



Source : European Environment Agency [15].

4.1.3.3 Propositions en terme de surveillance

L'enjeu est de développer une surveillance utile à une meilleure gestion des impacts sur la santé des événements extrêmes localisés et plus largement des catastrophes. Ceci signifie une surveillance portant sur les impacts à court, moyen et long terme, axée sur l'alerte, l'analyse de l'impact sanitaire et son évolution dans le temps selon les actions entreprises ou l'évolution de la société française.

› *L'alerte*

Pour favoriser l'alerte et limiter l'impact sanitaire à court terme, l'InVS *via* ses services centraux ou les Cellules de l'InVS en région (Cire) développe des outils d'estimation de l'ampleur des conséquences sanitaires immédiates de la catastrophe et d'identification précoce de l'éclosion de problèmes sanitaires, directement ou indirectement liés à la catastrophe.

Le principe est d'analyser les données agrégées disponibles de façon itérative, progressivement systématique et standardisée de différents événements, et leurs impacts sur la base des sources d'informations agrégées disponibles (données météo, coupures d'électricités, cartographies d'inondations, remboursements par secteur, données d'activités hospitalières, de médecine d'urgence disponibles…).

Parmi les actions déjà réalisées et à poursuivre, on peut par exemple citer :

- le développement par la Cire Antilles-Guyane d'un outil décisionnel visant à prioriser les événements sanitaires à surveiller en fonction des dysfonctionnements environnementaux et sociétaux engendrés par la catastrophe. Cet outil, créé pour les territoires d'outre-mer, doit être adapté au contexte métropolitain ;
- l'analyse des données Oscour suite à des événements catastrophiques : feux de forêt à Marseille en juillet 2009, tempête Klaus en janvier 2009, éruption volcanique de Montserrat en février 2010… ;
- les tests de recueil et de pertinence de l'utilisation de données d'exposition en regard de l'analyse des données Oscour : coupures d'électricité *via* le centre opérationnel de zone, données météorologiques *via* Météo-France…

De plus :

- un dispositif d'étiquetage des motifs de consultation aux urgences hospitalières en rapport avec un événement doit être développé et testé en collaboration avec les urgentistes. Ce dispositif devrait permettre d'alerter sur l'importance d'un problème de santé non prévu ;
- enfin, l'analyse précise des motifs de recours aux urgences de certains hôpitaux placés au cœur de la zone d'impact peut permettre d'identifier des passages spécifiques à un scénario (exemple : accidents de tronçonneuse dans les semaines qui ont suivi la tempête Klaus à l'hôpital de Mont-de-Marsan).

Ces actions doivent permettre le développement d'indicateurs d'impact et de méthodes d'interprétation des données syndromiques, de mortalité et de consommation de soin. Leur analyse systématique et

standardisée lors des catastrophes doit à terme constituer un véritable système de surveillance destiné à identifier rapidement les problèmes de santé en fonction des scénarios de la catastrophe et à estimer leur ampleur. Les informations apportées seront utiles pour adapter les moyens de gestion lors de la catastrophe. Ainsi, des messages d'alerte et de prévention en rapport avec des événements météorologiques particuliers doivent être préparés en amont et diffusés en fonction de l'événement, de ses impacts attendus et de ses impacts mesurés par les systèmes de surveillance mis en place (par exemple : intoxications au monoxyde de carbone par une utilisation inadéquate de groupes électrogènes et de chauffages de fortune suite à la tempête Klaus et aux coupures d'électricité qu'elle a engendré).

› *L'analyse de l'impact sanitaire*

Pour améliorer l'analyse de l'impact sanitaire à court, moyen et long terme, le travail commencé par le programme Peraic sur l'analyse des données citées précédemment pour l'alerte doit être poursuivi. Il doit être complété par une analyse plus précise et systématique des données de consommation de soins (médicaments, consultations) recueillies par la Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés (CnamTS) et compilées dans le Système d'information de l'assurance maladie (Sniir-AM). Une première étape consiste en l'analyse de l'échantillon généraliste des bénéficiaires. Cette analyse devrait permettre d'aller plus loin en identifiant les informations pertinentes à extraire du (Sniir-AM), afin de mieux estimer l'impact sanitaire d'un événement. Actuellement, Peraic teste la pertinence de l'utilisation des données de remboursement de médicaments psychotropes dans les suites de la tempête Klaus. Il s'agit de constituer un indicateur de l'impact de l'événement sur la santé mentale des personnes impliquées.

Pour améliorer l'analyse de l'impact sanitaire d'un événement notable, Peraic travaille actuellement avec les partenaires de la gestion de l'urgence et de la phase post-accidentelle à la faisabilité de la mise en place, dès l'événement, du recensement de l'identité des personnes impliquées, afin de permettre une surveillance épidémiologique à moyen et long terme de l'état de santé de ces personnes. Le programme doit aussi concentrer ses efforts sur la préparation d'outils de suivi au long terme des effets attendus et de leurs facteurs déterminants au sein des populations. Il travaillera notamment à la mise en place de protocoles de suivi de cohorte. De même, la pertinence et la faisabilité du croisement de ces données avec celles du Sniir-AM doit être étudiée. L'analyse des événements catastrophiques et de leurs impacts doit permettre une meilleure conception des plans de gestion et des actions de prévention mises en œuvre avant, pendant et après l'événement.

› *L'analyse de l'évolution dans le temps de l'impact sanitaire des catastrophes selon les actions entreprises ou l'évolution de la société française*

Une fois la caractérisation des impacts sanitaires et scénarios spécifiques réalisée, la surveillance contemporaine aux événements des impacts correspondants permettrait de renseigner sur l'adaptation ou la fragilisation des populations à la gestion de ces événements en fonction du temps ou des politiques de gestion entreprises.

4.1.3.4 Propositions en termes de connaissance

La recherche doit porter sur les facteurs influençant l'impact sanitaire à court, moyen et long terme et sur les moyens de les estimer de façon fiable et coût-efficace. Citons :

- les caractéristiques socio-économiques des populations ;
- les modalités d'expositions à l'événement et ses conséquences à court, moyen et long terme ;
- les scénarios de la survenue des événements liés à l'apparition d'effets spécifiques ;
- les modalités d'actions de gestion adoptées et leur impact propre (par exemple : les modalités de prise en charge médico-psychologique) ;
- les préparations de la société à la survenue de ces événements et leur pertinence.

L'InVS envisage de faciliter le développement de recherche sur deux questions en particuliers :

- l'analyse de l'impact sur la santé mentale de tels événements en fonction des caractéristiques socio-économiques des populations, des modalités d'expositions aux conséquences de la catastrophe et des actions de gestion entreprises ;
- l'évaluation des effets des techniques de prise en charge des cellules d'urgence médico-psychologiques et des modalités de suivi psychologique à plus long terme.

Le recensement des populations impliquées, mentionné plus haut dans le texte, facilitera la mise en place de cohortes spécifiques qui devraient permettre d'effectuer cette recherche.

4.2 Modifications de l'environnement

4.2.1 Qualité de l'air

La quantification des effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la santé a été réalisée par de nombreuses études internationales depuis le début des années 1990. Elles ont montré une augmentation de la mortalité, des hospitalisations ou des passages aux urgences pour causes respiratoires et cardio-vasculaires en liens avec une augmentation de la pollution atmosphérique. Les études qui ont été menées sur les effets chroniques liés à une exposition à long terme à la pollution atmosphérique tendent à montrer une augmentation du risque de développer un cancer du poumon ou une maladie cardio-pulmonaire (infarctus du myocarde, broncho-pneumopathie chronique obstructive, asthme…). Ces effets sont plus importants que ceux à court terme.

Les interactions entre le changement climatique et la qualité de l'air sont complexes. D'une part, le changement climatique aura un effet sur les concentrations de polluants. D'autre part, la pollution atmosphérique contribue au changement climatique. Elle est également directement impactée par les politiques d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.

4.2.1.1 État actuel de la surveillance

La surveillance de la qualité de l'air est assurée en routine par les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air.

Le Programme de surveillance air et santé a pour mission de maintenir et coordonner au plan national les activités de surveillance épidémiologique de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine à court [57,58] et à long terme, et articuler ces activités avec les dispositifs européens. Le développement de ce programme prévu pour les prochaines années comprendra l'étude de nouveaux indicateurs de pollution et indicateurs sanitaires tels que la consommation médicamenteuse ou les interventions de services d'urgence (surveillance des effets à court terme de la pollution atmosphérique), et l'exploitation des données des cohortes Elfe et Gazel (surveillance des effets à long terme).

4.2.1.2 Impacts attendus

› *Impacts du changement climatique sur la pollution atmosphérique*

Les températures élevées favorisent la production d'ozone. L'élévation des températures devrait en particulier provoquer une augmentation des émissions de précurseurs d'ozone (composés organiques biogéniques d'origine végétale comme l'isoprène) et stimuler les réactions photochimiques entraînant la production d'ozone. Les niveaux très élevés d'ozone observés pendant la vague de chaleur de l'été 2003 en Europe [59] et les effets sur la santé associés [60,61], même s'ils ont été relativement marginaux par rapport à ceux liés aux températures élevées, peuvent sans doute être considérés comme le prototype de ce qui pourrait se produire dans le futur [59,62] (figure 11). L'effet sur les niveaux de fond d'ozone est plus discuté car les résultats des modèles sont assez contradictoires, en raison d'une part, des effets opposés de l'augmentation de la température sur l'augmentation de la production d'ozone et, d'autre part, de l'augmentation des précipitations et de la charge en eau de l'atmosphère sur l'augmentation de l'élimination de l'ozone [63].

Les effets du changement climatique sur les concentrations de particules sont moins bien établis (impact des incendies de forêt plus fréquents, demande plus forte d'électricité et recours accru aux centrales thermiques) et suggèrent cependant une tendance à l'augmentation des concentrations de particules fines.

› *Impacts de la pollution atmosphérique sur le changement climatique*

Les polluants de l'air, notamment l'ozone et les particules, ont un impact global sur le changement climatique. L'ozone est classé au troisième rang des gaz à effet de serre [4]. Le méthane est un des principaux gaz à effet de serre et c'est aussi un précurseur de l'ozone. L'effet des particules est plus complexe : si les aérosols de type carbone-suie, produits par la combustion de combustibles fossiles, ont un effet direct de forçage radiatif positif sur l'atmosphère, les sulfates, produits par oxydation du SO_2, ont un effet direct négatif (effet réfléchissant). De même, les aérosols contribuent au développement des nuages, à pouvoir réfléchissant, et ont donc un effet de forçage négatif.

› *Impacts des politiques de réduction des émissions de gaz à effets de serre sur la pollution atmosphérique*

La combustion de combustibles fossiles est une source majeure de gaz à effet de serre et de polluants. La diminution de leur emploi produirait donc un double bénéfice et l'impact net pour la santé pourrait être tout à fait substantiel. Étant donné la part des transports dans les émissions de gaz à effet de serre, c'est également le cas des politiques permettant de réduire l'usage des transports routiers, aériens ou maritimes (par exemple : un transfert modal de l'avion vers le train). Le traitement conjoint des deux problématiques changement climatique et pollution de l'air permet aussi de tirer partie de la rapidité de réponse des processus de formation des polluants dans la troposphère, alors que l'effet des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre ne sera perceptible qu'après plusieurs décennies. Une analyse économique réalisée en 2009 montre que les bénéfices des politiques de réduction de CO_2 et PM_{10} étaient supérieurs à leurs coûts, que les politiques de réduction des gaz à effet de serre conduiraient à une limitation significative des émissions de CO_2 et dans une moindre mesure de PM_{10}, alors que les politiques locales de lutte contre la pollution de l'air réduisaient les émissions de PM_{10} mais pas celles de CO_2. Une synergie entre ces deux politiques pourrait conduire à une réduction supplémentaire des émissions de CO_2, estimée à 15 % pour l'Europe de l'Ouest [64]. L'Organisation pour la coopération et le développement économique suggère que les politiques d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre pourraient impliquer des bénéfices importants pour les politiques visant à améliorer la qualité de l'air en termes de santé, d'environnement et de réduction des coûts. L'Agence européenne de l'environnement estime elle que la contribution de l'Union européenne à l'atténuation du réchauffement climatique devrait conduire à une réduction des émissions de polluants, des impacts sanitaires et des coûts associés. Au Royaume-Uni, le groupe d'experts sur la qualité de l'air conclut qu'un changement dans la qualité de l'air est attendu, en rapport avec les changements climatiques estivaux et hivernaux. Et, dans l'autre sens, une amélioration de la qualité de l'air, conduisant à une diminution des concentrations globales d'aérosols, peut contribuer à une réduction du réchauffement climatique, notamment si les concentrations de particules de carbone élémentaire sont réduites [65].

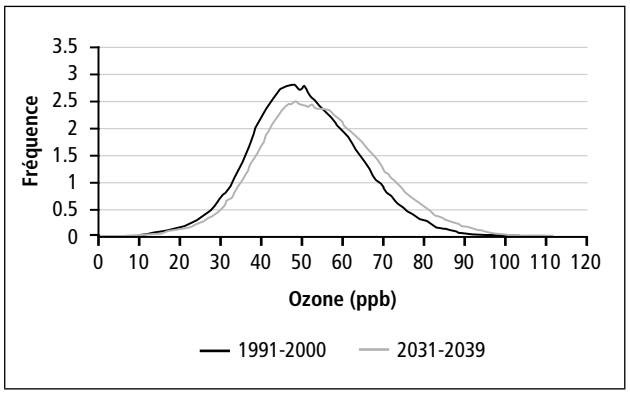
Certaines stratégies peuvent aussi avoir des effets bénéfiques sur une problématique et néfaste sur l'autre : ainsi, l'utilisation du bois comme combustible a pu être encouragée en raison de son bilan carbone intéressant, mais dans des conditions non optimales de combustion et de traitement des rejets, elle conduirait à une augmentation des émissions de polluants (particules fines, NO_x, HAPs). AirParif a estimé qu'une augmentation de la consommation de bois de chauffage d'une fois et demie par rapport à celle de 2005, dans les mêmes conditions d'utilisation, conduirait à une augmentation de 40 % des émissions de particules (PM_{10} et $PM_{2,5}$), de 45 % de celles du CO et de 50 % de celles des composés organiques volatils. Les gaz à effet de serre diminueraient en regard de 2 % [66].

Le bilan des mesures de traitement des émissions des véhicules automobiles est également souvent assez complexe. Par exemple, les pots catalytiques ou les filtres à particules permettent de réduire l'émission de polluants (PM, NO_x), mais ont tendance à diminuer l'efficacité énergétique des véhicules et donc à augmenter l'émission de gaz à effet de serre par kilomètre parcouru. Par ailleurs, l'usage du diesel a pu être encouragé pour des critères de meilleure efficacité énergétique, mais son usage provoque une augmentation des émissions de PM, en particulier de carbone-suie, et de NO_x, alors que l'usage de technologies pour limiter ces émissions de PM et de NO_x réduit les bénéfices en termes d'émission de CO_2.

Ces quelques exemples mettent en évidence l'intérêt d'intégrer une dimension santé dans l'élaboration des politiques publiques, visant à la fois à améliorer la qualité de l'air locale et à atténuer le changement climatique [67-71]. Plusieurs autres exemples de synergies et d'antagonismes entre la lutte contre le changement climatique et la lutte contre la pollution atmosphérique ont été déjà listés par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques [72].

| Figure 11 |

Évolution de la distribution d'ozone en été (juin-août) dans le Sud de l'Allemagne entre les années 1991-2000 et 2031-2039 [73]



4.2.1.3 Les propositions en terme de surveillance

Le Programme de surveillance air et santé de l'InVS a contribué à caractériser l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique, en particulier des particules en suspension et de l'ozone. L'impact potentiel des changements climatiques et des stratégies d'atténuation du changement climatique sur la composition chimique de la pollution atmosphérique, notamment particulaire d'une part, et sur les conditions météorologiques, notamment sur la température, d'autre part, doit conduire à s'interroger sur l'évolution dans le futur des relations exposition-risque, par rapport à ce qui est actuellement observé.

Le programme a donc, dès maintenant, adapté son activité, afin de mieux caractériser l'effet modificateur de la température sur l'effet des polluants, notamment l'ozone et les particules en suspension. Les résultats de ces travaux devraient permettre de mieux orienter la prévention des effets des vagues de chaleur.

Il va également, en collaboration avec ses partenaires dans le domaine de la qualité de l'air, chercher à caractériser l'impact sanitaire différentiel des particules selon leur composition chimique. Dans le futur, il devra continuer et adapter ses activités, afin de pouvoir contribuer à surveiller l'évolution dans le temps des relations exposition-risque qui pourrait résulter des modifications mentionnées.

Le programme devrait également contribuer à une prise en compte de l'impact potentiel du changement climatique et des stratégies d'atténuation sur la qualité de l'air et sur la santé dans la définition des politiques publiques. Cela impose de développer des partenariats avec les équipes spécialisées dans la modélisation régionale du climat et de la qualité de l'air.

4.2.1.4 Les propositions en terme de connaissances

Il est nécessaire de développer des outils prospectifs permettant de caractériser de manière intégrée l'impact sanitaire des politiques d'amélioration de la qualité de l'air et d'atténuation du et/ou d'adaptation au changement climatique. D'un point de vue sanitaire, leur étude nécessite de développer une collaboration avec des spécialistes de la modélisation du climat et de la qualité de l'air. En effet, ces développements soulèvent de nombreux problèmes méthodologiques, puisqu'il faut coupler des modèles du climat à plusieurs échelles (globale et régionale), des modèles chimie-transport et des modèles d'impact sanitaire.

4.2.2 Les allergènes respiratoires

Les pathologies principales associées aux allergènes respiratoires sont l'asthme et les rhino-conjonctivites allergiques. Les allergies au pollen touchent 10 à 20 % de la population en Europe. En France, la prévalence est de 18,5 % chez les adultes et de 11 à 27 % chez les adolescents de 13-14 ans, et elle a triplé en 25 ans dans la population française [74]. Le risque allergique dépend des conditions météorologiques qui impactent la vernalisation (besoins en froid hivernal) pour les plantes pérennes, et les besoins en chaleur qui conditionnent le développement des plantes annuelles et la floraison.

4.2.2.1 État actuel de la surveillance

La surveillance des comptes polliniques est réalisée par le Réseau national de surveillance aérobiologique. Les données sont couplées à des données météorologiques et des données de surveillance issues du réseau de médecins sentinelles (rhinites, conjonctivites, crises d'asthme), pour produire des bulletins allergo-polliniques proposant des prévisions hebdomadaires. Une vingtaine de plantes allergisantes sont suivies. L'ambroisie fait l'objet d'une stratégie particulière de surveillance, de prévention et d'éradication précoce dans les régions où elle est encore peu ou pas présente, ainsi qu'un suivi de sa progression.

Une surveillance épidémiologique de l'asthme est réalisée à l'InVS (prévalence, mortalité, hospitalisations et recours en urgence pour asthme). Les données du Programme de médicalisation des systèmes d'information et du CépiDc sont analysées en routine au niveau national avec un délai lié à la mise à disposition des bases. Les données SurSaUD® (Surveillance sanitaire des urgences et des décès) sont également utilisées, au niveau national et régional, pour surveiller les recours aux urgences pour asthme [75]. Dans ce cadre, un groupe de travail (InVS et Cire) a permis d'homogénéiser la méthodologie d'analyse des données concernant les recours en urgences pour asthme.

4.2.2.2 Impacts attendus

Certains auteurs font l'hypothèse d'un rôle du changement climatique dans l'augmentation de l'incidence de l'asthme observée depuis les années 50 [76]. Il convient toutefois de rappeler que les allergènes respiratoires ne sont pas les seuls facteurs de risque de survenue d'un asthme, ou de l'aggravation d'un asthme existant.

Les conditions météorologiques favorisent la production et la dispersion du pollen, et le climat influe sur les essences existantes dans une zone géographique donnée. Le changement climatique devrait induire des modifications des zones de végétation (remontée de certaines espèces méditerranéennes vers le nord par exemple [77]), allongement des périodes de pollinisation, déjà observé pour certaines espèces (figure 12), voire augmentation des quantités de pollen produites [78]. La fin de la période de pollinisation est également souvent retardée, avec un retard moyen de cinq jours sur l'ensemble du continent européen et pour l'ensemble des espèces [79], même si l'on trouve des exceptions pour certaines plantes et localités. Ceci entraîne donc d'ores et déjà un allongement de la période d'exposition aux pollens allergisants pour les malades, allongement qui pourrait s'amplifier dans les années à venir. De plus, même si peu d'études sont pour l'instant réalisées, l'élévation des températures devrait rendre le pollen plus allergisant. Ceci a été montré pour le bouleau, dont le pollen renferme d'autant plus d'allergène Bet v1 que la température est élevée [80,81], et pour l'ambroisie *Ambrosia artemisiifolia* pour laquelle un réchauffement de 3,5 °C entraînerait

une augmentation de 30 à 50 % en allergène Amb a1 dans les grains de pollen [82,83]. L'augmentation du CO_2, qui accompagne le réchauffement climatique, est susceptible d'accroître les quantités de pollen produite [84] et leur allergénicité [83,85]. Des modélisations sur le pollen d'ambroisie ont montré que la production de ce pollen devrait augmenter de 32 à 55 % entre 2070 et 2100, à cause de l'augmentation de la teneur en CO_2 de l'atmosphère [86].

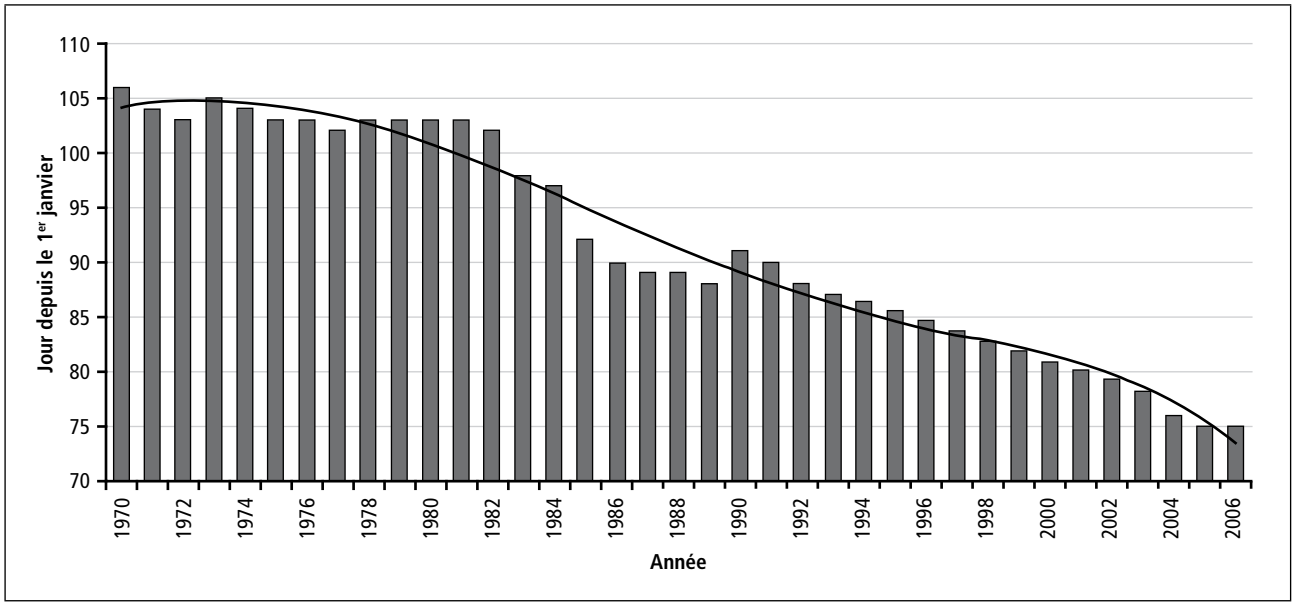
L'ambroisie (*Ambrosia artemisiifolia)* est actuellement présente dans de nombreuses régions françaises et est capable de se développer dans une large gamme de températures (optimum autour de 30 °C). Avec le changement climatique, l'ambroisie profiterait d'un décalage des premières gelées en fin de saison pour produire plus de semences ou pour terminer son cycle de développement dans de nouvelles zones géographiques plus au nord. Ces modifications géographiques actuellement constatées ne sont pas dues exclusivement au changement climatique. Elles s'inscrivent dans une évolution globale de l'occupation des sols, par exemple : augmentation des friches, multiplication des chantiers de lotissements de banlieues, développement dans certaines cultures (maïs, tournesol, soja), dans les jachères (depuis 1992, la Politique agricole commune, qui impose de geler 15 % de la surface jusque-là consacrée aux céréales, oléagineux et protéagineux, favorise la dissémination des graines dans les jachères, ce qui a amené une progression régulière des pollinoses).

L'effet délétère des pollens sur la santé respiratoire (risque de sensibilisation et exacerbation de symptômes chez les sujets sensibilisés) est potentialisé par la pollution atmosphérique (particules, ozone), elle-même en interaction avec le climat. La pollution peut agir sur l'allergénicité du pollen en majorant le nombre d'allergènes à l'intérieur des grains et en facilitant leur sortie [87] ; les oxydes d'azote, l'ozone et les particules diesel sont alors les polluants les plus souvent incriminés, le rôle du dioxyde de soufre et du monoxyde de carbone paraissant plus aléatoire. Mais les polluants sont également des irritants respiratoires, qui jouent le rôle de facteurs adjuvants dans la réaction allergique [88], la pollution photo-oxydante étant cette fois mise en avant par rapport à la pollution acido-particulaire. Ainsi, associés au pollen, l'ozone et le dioxyde d'azote peuvent accentuer la réponse bronchique, ainsi que les manifestations de rhinite ou de conjonctivite des allergiques, et abaisser leur seuil de réponse aux allergènes auxquels ils sont sensibilisés. Quant aux particules diesel, en stimulant la synthèse des IgE et des cytokines, elles facilitent la sensibilisation allergique des sujets prédisposés. Un historique de l'allergie au pollen montre sa progression au cours de l'ère industrielle [89], et les relations de cette augmentation avec la pollution. Ainsi, en France, la prévalence de l'allergie au pollen a triplé en 25 ans [90]. Au Japon, l'allergie au pollen de *Cryptomeria japonica* est passée de presque rien à environ 10 % dans les années soixante, chez les sujets vivant en ville ou le long des autoroutes et des voies rapides [91]. Cet exemple illustre bien les interactions à prévoir entre changement climatique et les autres facteurs dans l'aggravation potentielle d'une situation à risque sanitaire.

Enfin, le développement d'espaces verts dans la ville est un élément important de l'amélioration de la qualité de la vie [92] et de réduction des îlots de chaleur urbain. Il est cependant important de prendre en compte les potentiels allergiques dans le choix des espèces retenues (par exemple : éviter de planter des bouleaux, premier pollen d'arbre responsable d'allergie dans la moitié nord de la France, ou des cyprès dans le Sud).

| Figure 12 |

Évolution des dates de floraison du bouleau (*Betula*) à Londres entre 1970 et 2006 [93]



4.2.2.3 Propositions en terme de surveillance

Il n'y a pas à l'heure actuelle de système de surveillance spécifique des rhino-conjonctivites allergiques à l'InVS. Les rhino-conjonctivites allergiques représentent un problème de santé publique du fait de leur prévalence élevée, mais ce sont des pathologies bénignes bien qu'invalidantes, et pouvant avoir un coût non négligeable pour la société en termes d'absentéisme scolaire et professionnel et de consommation de soins (ce coût a par exemple été estimé à 156,6 millions de dollars pour l'allergie au pollen d'ambroisie au Québec, dont la prévalence est de 17,5 % et pour laquelle 84 % des symptômes sont des rhinites ou des conjonctivites). Compte tenu du système actuel de surveillance existant pour l'asthme, il ne semble pas prioritaire de développer une surveillance spécifique des rhino-conjonctivites allergiques. En revanche, pour compléter le dispositif actuel de surveillance,

une mesure régulière de la prévalence de l'atopie (sensibilisation, par production d'immunoglobines E, à des allergènes) au sein de la population générale pourrait être envisagée.

4.2.2.4 Propositions en terme de connaissance

Un approfondissement des interactions entre les polluants atmosphérique et les allergènes sur le risque allergie est nécessaire. L'impact de modifications de la température, du CO_2 atmosphérique, et de la ressource en eau sur le développement des plantes et la modification de leur potentiel allergène est encore mal connu et doit être encouragé. La prise en compte des pollens allergisants dans les choix d'occupations des sols est également à développer [94].

4.2.3 Habitat

L'habitat est un élément central des enjeux de santé publique aussi bien pour les événements météorologiques que pour le changement climatique. La population française passe plus de 90 % de son temps à l'intérieur de bâtiments et 70 % à l'intérieur de son domicile.

4.2.3.1 État actuel de la surveillance

L'Enquête nationale logement, dont le dernier volet a été réalisé en 2006, comprend des informations détaillées sur les caractéristiques des logements (qualité de l'habitat : état du logement et de l'immeuble, bruit, exposition, localisation, environnement, voisinage, sécurité, travaux effectués…) et les caractéristiques socio-économiques des occupants.

Afin de renforcer la lutte contre les intoxications au monoxyde de carbone (CO), un système de surveillance, piloté par l'InVS, a été mis en place sur l'ensemble du territoire métropolitain en 2005. Ses objectifs sont d'alerter les pouvoirs publics, afin de prendre les mesures de prévention ou de non récidive, d'estimer l'ampleur du phénomène, de décrire les circonstances de survenue, de caractériser les intoxiqués et d'évaluer les mesures de santé publique mises en place. Le système de surveillance s'appuie sur le signalement de toute suspicion d'intoxication au CO [95].

4.2.3.2 Impacts attendus

L'habitat est un élément central lors des événements extrêmes, des vagues de chaleur [96,97] et des vagues de froid [98]. La multiplication des événements extrêmes pourraient être associés à une augmentation des intoxications au monoxyde de carbone, à l'exemple de ce qui s'est passé pendant la tempête Klaus. On peut également envisager une augmentation des contaminations de type moisissures dans l'air intérieur, susceptibles de se développer plus facilement sous un climat plus chaud, ou de survenir plus fréquemment à la suite d'événements extrêmes type inondations. Ces moisissures peuvent générer des problèmes sanitaires importants, incluant symptômes respiratoires, allergies, asthme [99]. L'étude LARSES, conduite sur huit villes par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) Europe, a trouvé qu'un mauvais état de santé était significativement associé à un mauvais confort thermique, à des problèmes d'étanchéité, ainsi qu'à la présence d'humidité et/ou de moisissures [100].

L'amélioration de l'efficacité énergétique des logements est un élément clef du plan de réduction des gaz à effet de serre mis en place en France. Elle permet de réduire la mortalité et la morbidité en été et en hiver, et se traduit par une amélioration générale de la qualité de vie [101]. Une évaluation anglaise des impacts de l'amélioration de l'efficacité énergétique selon différentes méthodes (amélioration des matériaux, de la ventilation, changement des systèmes de chauffage et des comportements) montre un impact globalement positif sur la santé [102]. Les conséquences sur la qualité de l'air intérieur de ces mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique devront bien sur faire l'objet de précautions (par exemple : isolation et conséquences inhérentes au confinement de l'air) [103], mais elles seront limitées en favorisant la mise en place de technologies adaptées.

4.2.3.3 Propositions en terme de surveillance

L'enquête nationale logement devrait être maintenue et complétée par un volet sanitaire. Les données du recensement général de la population pourraient apporter des éléments sur le confort minimum des logements et pourrait être complétée par les informations contenues dans la base de données administrative FILOCOM/PPPI, ou sur le développement d'une base de donnée recensant les divers diagnostics obligatoires réalisés lors des changements d'occupants (performance énergétique en particulier).

Le suivi des données de surveillance sur la présence de moisissure et d'humidité ainsi que leur origine serait également intéressant. Le développement de méthodes de mesure qualitative ou semi-quantitative de la présence de moisissure et d'humidité permettrait d'assurer ce suivi.

4.2.3.4 Propositions en terme de connaissance

L'étude des facteurs de risques attribuables au logement dans la mortalité et la morbidité lors des vagues de chaleur et des vagues de froid devrait être approfondie. Une meilleure connaissance de la température à l'intérieur des logements, température à laquelle les gens sont effectivement exposés, serait utile pour orienter la prévention. Des expériences ont été conduites par exemples pour modéliser les températures intérieures à partir des températures extérieures et de modèles urbains [104]. De telles études pourraient se traduire par des actions de développement urbain visant à limiter l'étendue des îlots de chaleur par exemple.

4.2.4 Rayonnement ultraviolet (UV)

Si les risques liés à l'exposition aux UVB sont connus depuis longtemps, l'activité mutagène des UVA est connue depuis moins de 10 ans [105]. Les principaux risques sont cutanés (carcinomes basocellulaires, spinocellulaires, mélanomes malins ; brûlures, allergies, vieillissement de la peau). Environ 80 000 nouveaux cas de cancer cutané sont diagnostiqués chaque année en France. Ce nombre est en progression constante avec une augmentation annuelle de 7 %. Le mélanome (5 à 10 % des cancers cutanés) est la forme la plus grave et représente la première cause de mortalité par cancer chez l'adulte jeune (20-40 ans) [105]. Il est lié aux expositions solaires de l'enfance [106]. Il faut noter que l'augmentation du rayonnement UV observée en Europe ne suffit pas à expliquer l'augmentation des cas de cancer de la peau qui a été constatée au cours des dernières décennies. Le rôle majeur des changements comportementaux, en particulier liés aux vacances et à la recherche de soleil, est à souligner [107].

4.2.4.1 État actuel de la surveillance

L'indice UV (ou index UV) est une échelle de mesure de l'intensité du rayonnement UV du soleil et du risque qu'il représente pour la santé. Météo-France réalise des prévisions de l'index UV sur la France métropolitaine pendant toute la période estivale. Grâce aux mesures par satellite, il est aujourd'hui possible de renseigner sur les niveaux d'UV rencontrés par maille de 25 km^2 à l'échelle de l'Europe quotidiennement.

Certains cancers de l'adulte, dont le mélanome cutané, font l'objet d'une surveillance épidémiologique basée sur les données de mortalité connues sur l'ensemble du territoire (certificats de décès, Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès – CépiDc) et sur les données d'incidence recueillies par des registres des cancers départementaux. Ces registres départementaux couvrant 15 % du territoire national, des méthodes d'estimation de l'incidence nationale ont été développées dans le cadre du réseau Francim (association des registres français des cancers qualifiés). Les autres types de cancers cutanés ne font pas l'objet d'une surveillance systématique par les registres de cancers. Les Registres du Haut-Rhin et du Doubs enregistrent les carcinomes basocellulaires. Les carcinomes spinocellulaires sont également enregistrés par certains registres, mais les données ne sont pas présentées dans les incidences nationales.

Les rayons UV peuvent également être responsables de lésions et troubles oculaires graves : la cataracte – première cause de cécité dans le monde et responsable de 450 000 interventions chirurgicales par an en France (premier acte chirurgical en termes de fréquence en France), la dégénérescence maculaire liée à l'âge, et de façon plus bénigne, l'ophtalmie.

4.2.4.2 Impacts attendus

L'évolution des UV dans une perspective de changement climatique est à l'heure actuelle incertaine. Certains modèles prédisent une diminution très marquée des précipitations et de la couverture nuageuse au-dessus d'une partie de l'Europe en été qui conduirait à une augmentation du rayonnement ultraviolet. Des premières mesures de quantité d'UV par maille de 25 km^2 ont montré une augmentation du rayonnement UV en juin durant la dernière décennie comparée à la décennie précédente. De plus, des étés plus longs et une augmentation des journées ensoleillées pourraient conduire à des changements comportementaux qui augmenteraient l'exposition de la population aux rayonnements ultraviolets.

4.2.4.3 Propositions en terme de surveillance

Afin de suivre l'évolution temporo-spatiale des cancers attribuables aux UV, il serait nécessaire de mettre en place un recueil actif, au niveau national, des cancers spinocellulaires et basocellulaires, qui n'existe pas en dehors d'initiatives locales telles que les Registres du Haut-Rhin et du Doubs. Concernant les mélanomes, la surveillance actuelle semble pertinente pour répondre aux besoins.

Pour les cataractes, seules les données sur les interventions chirurgicales sont disponibles actuellement en routine. Ce type de données ne semble pas optimal pour surveiller l'impact sanitaire des UV. Il serait donc nécessaire d'avoir une estimation de l'incidence des cataractes à mettant en place des enquêtes transversales répétées en population générale ou auprès des ophtalmologistes.

Une caractérisation et une surveillance des comportements individuels sont essentielles pour comprendre l'évolution des risques, et fournir des leviers d'actions en matière de prévention du risque et de santé publique. En France, des campagnes annuelles de prévention solaire sont menées. Elles ont été confiées à l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé en 2009. Ces campagnes font l'objet d'études d'impact, évaluant notamment les modifications de comportements individuels secondaires à ces campagnes. La mise en place d'une surveillance tempo-spatiale des comportements individuelles pourrait s'appuyer sur cet outil d'évaluation. Ainsi, ce type de surveillance permettrait d'étudier les interactions entre comportements des populations et niveaux d'UV.

4.2.4.4 Proposition en terme de connaissance

Il faut encourager le développement de modèles et d'études permettant de caractériser les expositions aux UVA et UVB. Le croisement des estimations de niveaux moyens d'UV avec des indicateurs de distribution de comportement à l'égard des UV au sein de la population pourrait permettre de surveiller l'exposition aux UV et, par conséquent, l'évolution future du risque de cancers cutanés dans le futur, attribuable au soleil.

Les études épidémiologiques et mécanistiques permettant d'affiner la connaissance des relations entre l'exposition aux UV et les risques sanitaires sont aussi indispensables.

4.2.5 Risques d'origine hydrique

Les risques sanitaires hydroportés recouvrent les risques liés à l'eau distribuée et les risques liés aux eaux de loisirs, mais aussi aux eaux industrielles (légionellose). Les trois voies d'exposition (ingestion, inhalation et contact) sont impliquées dans cette catégorie de risque. Les dangers associés à ces expositions sont nombreux et variés. Le risque infectieux inclut une centaine de micro-organismes d'origine fécale (*Salmonella typhi,* poliovirus*, Helicobacter pylori, Cryptosporidium* sp. et les autres agents des gastro-entérites) et des agents opportunistes (*Legionella pneumophila, Naegleria fowleri, Pseudomonas aeruginosa*…). L'OMS considère que le risque infectieux est le plus généralisé et le plus préoccupant, y compris dans les pays développés [108], et préconise la surveillance épidémiologique du risque en complément du contrôle de la qualité de l'eau et de l'évaluation du risque. Le risque toxique s'exprime principalement dans le long terme et souvent seulement localement [109]. Les risques les plus préoccupants en France sont ceux liés aux sous-produits de désinfection [110], à un moindre degré à l'arsenic, au monochlorure de vinyle, au plomb et aux cyanobactéries. Certains toxiques de grande notoriété n'entrent pas actuellement dans le champ de la surveillance sanitaire, soit qu'ils ne constituent plus un risque actuellement (nitrates), soit que l'exposition hydrique est marginale (pesticides), soit enfin que le risque sur la santé humaine n'est pas établi et relève encore de la recherche (médicaments dans l'eau).

4.2.5.1 État actuel de la surveillance

L'InVS a porté son effort de surveillance sur les risques infectieux d'origine fécale véhiculés par l'eau distribuée. D'autres risques ont fait l'objet d'études épidémiologiques spécifiques (légionellose, arsenic) et de travaux visant à approcher l'exposition (sous-produits de désinfection).

Les gastro-entérites aiguës constituent un indicateur classique des pathologies imputables aux agents pathogènes d'origine fécale. L'InVS a identifié les données de remboursement des médicaments, collectées par les différents organismes d'assurance maladie et rassemblées dans le Sniir-AM, comme source de données permettant de suivre quotidiennement au niveau communal l'incidence des gastro-entérites aiguës. La sensibilité et le niveau de résolution spatio-temporel de cet indicateur s'avèrent adéquat pour l'étude du risque infectieux d'origine fécale porté par l'eau distribuée.

D'autres sources de données de santé sont utilisées pour l'étude des risques hydroportés. Il s'agit principalement des registres de cancers nécessaires à l'étude des risques toxiques à long terme. Les cancers d'intérêt sont en l'occurrence les cancers de l'appareil urinaire, du poumon, du foie, de l'estomac et le cancer colorectal. Le recueil des

déclarations obligatoires de certaines maladies infectieuses (typhoïde, légionellose…) ou non-infectieuses (saturnisme) permet par ailleurs de suivre l'incidence de pathologies graves potentiellement liées à l'eau.

Enfin, la surveillance syndromique et la toxicovigilance fondée sur les appels aux Centres antipoison fournissent des signaux adaptés aux risques rares et imprévisibles, tels que ceux engendrés par malveillance ou l'apparition d'une algue toxique tropicale.

Comme les maladies d'origine hydrique sont multifactorielles (plusieurs agents causaux, plusieurs voies d'exposition), les données sanitaires seules ne donnent pas d'indication sur la part attribuable à l'eau. Dans cette optique, des données sur l'exposition hydrique sont indispensables. La base Sise-eaux (Système d'information santé environnement-eaux de distribution), qui rassemble les résultats du contrôle réglementaire de la qualité de l'eau distribuée, est la seule ressource nationale alimentée en continu depuis 2000 qui permette l'estimation de l'exposition aux contaminants de l'eau potable partout en France. L'InVS évalue par ailleurs l'utilité des enregistrements des données d'exploitation (turbidité, chlore résiduel, débits…) pour estimer l'exposition au risque infectieux d'origine fécale.

4.2.5.2 Impacts attendus

› *Eaux de consommation*

Plus que l'émergence de risques nouveaux, le changement climatique devrait accroître la fréquence et l'intensité des phénomènes défavorables bien connus tels que les étiages sévères et les crues turbides consécutives aux épisodes de pluie intenses. Il interviendra aussi directement sur les écosystèmes à travers une hausse des températures. L'exposition des populations sera donc modifiée à la fois par les changements intervenus dans la contamination des milieux, et à travers la modification des comportements "exposants".

L'écologie et la pathogénicité des micro-organismes toxiques ou "opportunistes" pourraient être modifiées par des changements dans certains paramètres climatiques [111]. Les experts s'accordent par exemple pour estimer que la fréquence des efflorescences de cyanobactéries augmentera avec le changement climatique. L'augmentation de la température des eaux en été favorisera d'une part, la croissance des cyanobactéries (l'optimum se situant vers 25 °C) et, d'autre part, la stratification des eaux dans les réservoirs qui conditionne la survenue d'efflorescences. La production de toxine, qui est inconstante, semble aussi déterminée par des facteurs climatiques, mais le lien est insuffisamment compris pour appuyer des prévisions. Ces efflorescences affectent principalement les eaux de retenues, qui représentent un tiers des eaux de surface utilisées pour la production d'eau potable, et notamment les eaux dystrophiques par apport excessif d'engrais sur les bassins d'alimentation. L'impact des blooms de cyanobactéries sur la qualité de l'eau distribuée peut être réduit par un traitement adéquat de l'eau (par exemple : filtration sur berge, ultrafiltration). En supposant que ni les pratiques agricoles de fertilisation ni les filières de traitement de potabilisation de l'eau ne changent, l'exposition aux cyanobactéries de la population alimentée par des eaux de retenue augmentera dans le contexte du changement climatique.

Les données émanant de pays plus chauds que la France ne suggèrent pas pour les agents pathogènes d'origine fécale une élévation spectaculaire des niveaux de risque en lien avec l'augmentation de température, mais plutôt une diminution liée à la stimulation directe de leur disparition par prédation. Les *Vibrio* non *cholera* font exception à cause de la présence d'hôtes intermédiaires (copépodes) dont les populations augmenteraient avec la température, mais cela concerne plutôt le risque alimentaire à travers la consommation de coquillages.

Le moteur essentiel qui accroitraît le risque de contamination fécale des eaux reste les crues turbides et les étiages sévères et non les variations de températures. Ces deux situations hydrologiques extrêmes sont susceptibles d'entraîner des situations de pollution aiguë des eaux, soit par concentration (étiage), soit par entraînement des matières fécales déposées sur les sols et par débordement des systèmes d'assainissement (crues). La pollution fécale des eaux brutes concerne les eaux de surface et les eaux souterraines vulnérables (nappes alluviales, karsts), mais le risque infectieux frappe principalement les populations rurales alimentées à partir d'eau karstique, car les traitements mis en œuvre dans ces petites installations sont souvent insuffisants pour inactiver les micro-organismes.

Les crues et les étiages conduisent aussi à une concentration accrue en matière organique soluble ou particulaire dans les eaux de surface. La matière organique réagit avec les produits désinfectants (chlore, ozone) pour créer des sous-produits de désinfection, comme les trihalométhanes. Les eaux distribuées produites à partir d'eau de surface (un tiers du total en France) sont particulièrement sensibles au risque d'apparition des sous-produits de désinfection.

Des changements dans les comportements exposants sont également à envisager. Une tendance à l'économie d'eau apparaît déjà à travers le recours aux puits privés ou à la récupération d'eau de pluie, réservée en théorie aux besoins non alimentaires. Il est difficile de prévoir quantitativement l'effet de cette tendance sur des expositions aux toxiques et aux agents pathogènes. La baisse de la consommation entraîne un allongement du temps de séjour de l'eau dans le réseau de distribution susceptible d'altérer la qualité de l'eau : production de certains sous-produits de chloration, développement de biofilm abritant des agents pathogènes opportunistes. On peut aussi craindre la multiplication d'accidents dus à des retours d'eau dans le réseau urbain imputables à l'installation de connexions non protégées entre le réseau urbain et le réseau domestique dédié aux eaux produites sur place.

› *Eaux de baignade*

Les eaux de baignade devraient aussi connaître une intensification des risques liés à la présence de cyanobactéries. L'amibe libre *Naegleria fowleri,* qui est retrouvée épisodiquement à des faibles concentrations dans les eaux douces, mais n'a pas été en France la cause de cas de méningite rapportés, pourrait le devenir avec le réchauffement des eaux douces. L'émergence d'algues tropicales peut également être redoutée, à l'instar de la progression d'*Ostreopsis ovata* en Méditerranée. Ce dinoflagellé est la cause d'irritations cutanées chez les baigneurs et peut provoquer, par aérosolisation de débris cellulaires, des épidémies de crise d'asthme chez les riverains. L'exposition est donc dépendante de conditions météorologiques particulières dont la fréquence pourrait augmenter dans le futur. Là aussi, l'exposition pourrait s'accroître avec l'intensification de la pratique des baignades dans les eaux naturelles. Le risque alimentaire lié à la bioaccumulation des toxines de dinoflagellés dans la chaine alimentaire, présent sous les tropiques mais limité en France au syndrome diarrhéique (*Dinophysis ovata*), pourrait aussi augmenter et s'étendre à des effets plus graves, par exemple neurologiques.

4.2.5.3 Propositions en terme de surveillance

La perspective du changement climatique ne justifie pas le développement de nouveaux dispositifs de surveillance sanitaire. Elle nécessite en revanche d'améliorer et de renforcer les dispositifs mis en place spécifiquement pour la surveillance du risque d'origine hydrique.

Le système de déclaration obligatoire couvre les pathologies infectieuses d'origine fécales susceptibles de réémerger en France métropolitaines ou d'augmenter dans les départements d'outre-mer, ainsi que la légionellose. Les Registres de cancer, ou, dans un futur proche, le système alternatif "multisources", croisant différentes bases de données d'activité médicale, constituent des sources convenables pour supporter des études sur les risques toxiques à long terme. Le choix cancers à surveiller en priorité repose d'une part, sur l'impact imputable à l'eau, qui intègre l'impact total et les spécificités vis-à-vis du produit et du vecteur, et, d'autre part, sur l'augmentation attendue de l'exposition avec le changement climatique (tableau 3). Une augmentation possible de l'exposition avec le changement climatique est peu probable en ce qui concerne l'arsenic. À l'opposé, l'exposition aux sous-produits de chloration devrait augmenter à travers la dégradation de la qualité des eaux brutes et à travers l'augmentation des temps de transit de l'eau dans les réseaux. Les cancers à surveiller en priorité par rapport à leur potentiel d'évolution avec le changement climatique sont donc le cancer de la vessie, le cancer colorectal, mais aussi certains cancers du foie. La couverture géographique des registres serait à adapter à celles des expositions environnementales préoccupantes, par exemple Bretagne et Vendée pour l'exposition aux sous-produits de chloration.

Dans la perspective du changement climatique, les bases de données non dédiées à l'épidémiologie peuvent poser un problème d'homogénéité dans le temps.

Concernant l'exposition, le contenu de la base Sise-eaux du Sniir-AM est évolutif, ce qui pose le problème de sa capacité à mettre en évidence des tendances épidémiologiques. Les données du contrôle réglementaire de l'eau sont par exemple soumises aux évolutions d'échantillonnage et des techniques analytiques imposées par la réglementation européenne qui est révisée environ tous les 10 ans. Les biais induits par ces changements devront faire l'objet d'un contrôle soigné pour un usage adéquat de ces données.

Le recours aux données de remboursement des médicaments colligées par la CnamTS pose un problème de même nature. Les médicaments utilisés dans le traitement des gastro-entérites ont une efficacité limitée. Ils ont été en partie déremboursés et cette orientation pourrait se poursuivre, soustrayant les spécialités déremboursées de la base de données et altérant ainsi à travers le temps l'homogénéité des indicateurs épidémiologiques fondés sur ces données. Pour que cette ressource permette de conclure sur des tendances épidémiologiques modérées à l'échelle décennale, il s'agirait de développer un système de référencement de la définition de cas indépendant de l'activité médicale. Ce biais ne perturbe cependant pas le suivi des facteurs de risque dans le temps, c'est-à-dire qu'il reste opérationnel pour appuyer l'action de santé publique.

Compte tenu du caractère irremplaçable de ces ressources pour la surveillance du risque d'origine hydrique, la valorisation épidémiologique de Sniir-AM et de Sise-eaux doit être poursuivie, ainsi que l'amendement du contenu des bases en vue d'une meilleure utilité en épidémiologie. Une description des traitements et des dispositifs de sécurité dans la base Sise-eaux augmenterait par exemple fortement le potentiel de la base de données pour estimer l'exposition des Français, mais aussi pour désigner les installations les plus vulnérables au changement climatique. En ce qui concerne le Sniir-AM, la récupération des médicaments prescrits non remboursés amortirait l'effet de déremboursement.

Enfin, la surveillance des comportements exposants serait nécessaire pour mieux appréhender les risques. Il s'agit en effet de sortir du paradigme qui prévaut dans de nombreuses études et qui consiste à confondre l'exposition avec la contamination de l'eau, en supposant la consommation homogène dans la population et dans le temps.

Dans le cas des dinoflagellés et autres algues et bactéries toxiques, il est nécessaire d'adapter les systèmes de surveillance environnementaux existants à la détection de nouvelles espèces et à l'évolution des phénomènes. Il est important que l'InVS entretienne des relations suivies avec des agences et les universités expertes, afin de veiller à ce que ces systèmes répondent aux besoins de l'alerte de santé publique.

4.2.5.4 Propositions en terme de connaissance

La caractérisation de la matière organique de l'eau en vue de son traitement nécessite prioritairement de la recherche étant donnée l'influence de ce paramètre sur le risque toxique et microbiologique et l'évolution probablement défavorable du problème. Il apparaît par ailleurs nécessaire que la recherche française revienne aussi sur des thématiques délaissées, tel le risque infectieux d'origine fécale porté par l'eau ou le risque de cancer imputable aux sous-produits de désinfection. Là encore, la priorité devrait aller à la caractérisation de l'exposition, la nature des molécules cancérogènes restant controversée.

| Tableau 3 |

Eau, cancer et changement climatique : quels cancers surveiller en priorité ?

Localisation du cancer	Produits/agents cancérogènes présents dans l'eau	Imputabilité du cancer au produit	Spécificité du cancer par rapport au produit	Part de l'eau dans l'exposition	Présomption d'augmentation de l'exposition hydrique avec le changement climatique	Priorité pour la surveillance
Vessie	Sous-produits de chloration	Oui	Faible	Certaine	Oui	1
Vessie	Arsenic	Oui	Faible	Forte	Non	
Rein		Oui	Faible		Non	Non
Rectum et colon	Sous-produits de chloration	Probable	Faible	Certaine	Oui	2
Foie	Mono chlorure de vinyl	Oui	Très faible[a]	Probablement forte	Possible	Non
Foie	Toxines des cyanobactéries	Possible	Très faible	Probablement forte	Oui	3
Poumon	Arsenic	Oui	Très faible	Forte	Non	Non
Peau	Arsenic	Oui	Moyenne	Forte	Non	Non
Estomac	*Helicobacter pylori*	Oui	Moyenne	Probablement non négligeable	Possible	Non[b]

[a] *Sauf angiosarcome : moyenne.*
[b] *La surveillance d'autres indicateurs de santé semblent plus judicieuse : gastro-entérites qui présente la même étiologie fécale, ulcère gastroduodénal, plus précoce et plus sensible que le cancer.*

4.2.6 Espèces végétales et animales potentiellement dangereuses, hors agents infectieux

De nombreux écosystèmes terrestres et marins sont déjà impactés par le changement climatique, avec des déplacements ou des modifications d'espèces observées. Par exemple, l'expansion de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), est considérée comme un marqueur du changement climatique par l'Onerc (figure 13). Les effets sanitaires sont de type urticant, les poils libérant une substance qui entraîne une réaction inflammatoire locale : urticaire, conjonctivite, toux irritative. Dans certains cas, les effets peuvent être de type allergique : déclenchement d'un mécanisme d'allergie provoquant la synthèse d'IgE contre l'allergène, avec la possibilité d'effets systémiques graves (œdème laryngé, choc anaphylactique) [112]. La chenille processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*) et la chenille du Bombyx cul-brun (*Euproctis chrysorrhoea*) ont également déjà fait l'objet de signalements sanitaires.

4.2.6.1 État actuel de la surveillance

Il n'existe pas de systèmes de surveillance spécifique. Cependant, le réseau national de toxicovigilance, qui s'appuie notamment sur les Centres antipoison et de toxicovigilance, peut permettre un suivi des cas. La surveillance syndromique permet de suivre les passages aux urgences pour piqûres et contacts avec des animaux venimeux. Le Muséum d'histoire naturelle a lancé la création d'un réseau de naturalistes amateurs permettant de constituer un système de veille, de surveillance et d'alerte sur l'évolution des distributions des espèces d'animaux et de plantes.

4.2.6.2 Impacts attendus

La distribution géographique d'une espèce dépend des conditions physico-chimiques de son environnement, des interactions avec les autres espèces, des limitations ou favorisation de sa dispersion. L'interaction entre ces facteurs étant complexe, il est difficile de prévoir l'évolution géographique d'une espèce. Par défaut, on utilise principalement les conditions physico-chimiques pour déterminer une "enveloppe climatique", afin de prédire la réponse des espèces au réchauffement climatique. Or, pour le moment, en dehors de cas particuliers, ce seul indicateur n'est pas suffisant pour prédire l'évolution d'une espèce puisque d'autres facteurs, comme par exemple l'occupation des sols [113] interviennent beaucoup. À défaut, la mise en place de systèmes de veille et de surveillance de l'évolution des espèces dans l'espace et le temps s'avère potentiellement fort utile. Les études menées par des associations de naturalistes alertent par exemple sur des remontrées vers le nord d'espèces méridionales (insectes, oiseaux). De même, l'observation en collaboration avec le Muséum d'histoire naturelle montre que les espèces nordiques en France connaissent une évolution négative.

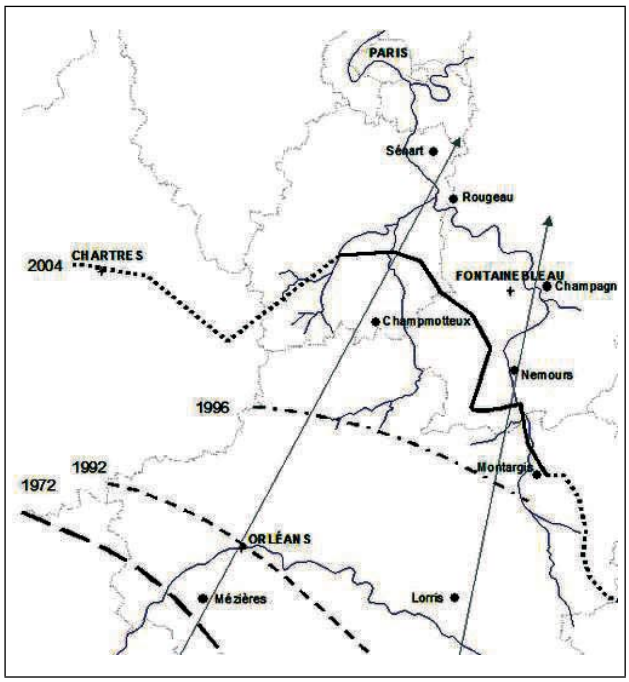
4.2.6.3 Propositions en terme de surveillance

La surveillance environnementale existante devrait permettre l'identification d'épisodes inhabituels, en termes d'espèces, de nombre, de période, d'étendue géographique et de tendance. Les expériences passées montrent qu'il est cependant nécessaire de maintenir en France un savoir-faire dans la capacité à identifier des espèces auprès des naturalistes amateurs et professionnels.

L'identification d'épisodes sanitaires est possible *via* la surveillance syndromique et le réseau des Centres antipoison et de toxicovigilance français et européens.

| Figure 13 |

Évolution du front d'expansion de la chenille processionnaire du pin dans le Bassin parisien entre 1972 et 2007



Source : Observatoire national des effets du réchauffement climatique [14].

4.2.7 Les sols

4.2.7.1 État actuel de la surveillance

Il existe plusieurs bases de données environnementales documentant la qualité chimique des sols en France [114]. Le réseau de mesure de la qualité des sols permettra en particulier un suivi tous les 10 ans permettant de suivre l'évolution de la qualité des sols [115].

Il n'existe pas de programme de surveillance spécifique sur les impacts des sols sur la santé. Cependant, l'InVS est régulièrement sollicité sur des problématiques de pollution des sols et de santé publique. Il concentre son travail sur l'estimation de l'exposition aux polluants des sols et sur la compréhension du rôle des populations concernées.

4.2.7.2 Impacts attendus

L'évolution des sols sous l'influence de facteurs climatiques, environnementaux et anthropiques est un processus long et difficilement observable. Le changement climatique pourrait perturber la qualité des sols, et notamment leurs propriétés agricoles, avec des conséquences sur la production alimentaire qui ne sont pas discutées dans le cadre de ce rapport [116]. On peut aussi s'attendre à des modifications de la réserve en eau, de la stabilité physique des sols, et de l'érosion [46].

À l'heure actuelle, quelques rares articles font mention de modifications possibles des transferts de polluants chimiques dans les différents compartiments de l'environnement [117], ou de modifications des comportements d'expositions (par exemple : temps passé à l'extérieur, pratiques agricoles, lutte antivectorielle…) [118,119].

Le changement d'affectation des sols pourrait également générer de nouvelles expositions, par exemple en construisant des habitations sur des sols contaminés. Il pose également des problèmes accrus d'érosions entraînant une augmentation de l'influence des poussières dans l'exposition, et des risques de mobilisation des contaminants contenus dans les sédiments lors d'inondations par exemple.

Enfin, les sols représentent un réservoir de carbone organique qui pourrait être perturbé par le changement climatique et par les changements d'usages des sols [116].

4.2.7.3 Propositions en terme de connaissance

Les connaissances actuelles sur les interactions sols-changements climatiques-santé ne permettent pas de donner d'orientation pour la surveillance. Le suivi de l'évolution des sols dans le temps et des travaux de recherche pluridisciplinaires sont nécessaires pour développer des connaissances dans ce domaine.

4.3 Maladies infectieuses

À partir d'un recensement préalable effectué dans le rapport français sur les impacts du changement climatique [23], 21 agents pathogènes ou groupes d'agents pathogènes ont été identifiés comme pouvant être impactés par le changement climatique.

Ces 21 agents ou entités[5] sont regroupés en quatre catégories :

- **le groupe A** inclut les infections véhiculées par des arthropodes :
  - sept virus ou parasites transmis par des moustiques ou phlébotomes : chikungunya, dengue, fièvre jaune, paludisme, infection à virus West Nile, fièvre de la vallée du Rift, Leishmaniose viscérale à *L. infantum* (la leishmaniose cutanée, rarissime en France, ne figure pas dans cette liste),
  - quatre infections transmises par des tiques : fièvre hémorragique Crimée-Congo, borréliose de Lyme, encéphalite à tiques et fièvre Q ;
- **le groupe B** inclut deux infections transmises par contact avec des rongeurs : fièvre hémorragique avec syndrome rénal (hantavirus) et leptospirose ;
- **le groupe C** concerne des infections à transmission féco-orale : hépatites A et E, norovirus, salmonelloses à *Salmonella typhi* et non *typhi*, infections à vibrions pathogènes et enfin diverses infections parasitaires, notamment *cryptosporidium* et *giardia* ;
- **le groupe D** concerne des pathogènes très différents : légionelles d'une part, et champignons/moisissures d'autre part.

4.3.1 État actuel de la surveillance

Parmi ces 21 agents ou entités répertoriés, 20 font déjà l'objet d'une surveillance exhaustive ou partielle à l'InVS, par le biais de la déclaration obligatoire ou de tout autre système de surveillance (annexe 5).

[5] *Une entité pouvant être un groupe de pathogènes qui a les mêmes conséquences ; par exemple : les champignons/moisissures de l'habitat ont été regroupés dans une seule entité.*

Cette surveillance est parfois établie depuis plus de 10 ans. Elle avait été jugée nécessaire en raison de l'incidence et la gravité des maladies concernées, de leur potentiel de diffusion et des possibilités d'action de santé publique visant à réduire le risque. En outre, les 13 infections des groupes A et B ont déjà fait l'objet d'une réévaluation concernant la pertinence de leur surveillance, dans le cadre de la "priorisation de la surveillance des zoonoses non-alimentaires". Cette démarche de hiérarchisation des priorités en termes de surveillance, initiée en 2000 [120], a été mise à jour entre 2005 et 2008 (rapport en cours). Elle est basée sur une expertise multidisciplinaire incluant cliniciens, épidémiologistes, biologistes, vétérinaires, responsables de santé publique, chercheurs, gestionnaires. Le groupe d'experts définit les zoonoses à surveiller en priorité en fonction des critères suivants :

- importance de la maladie humaine (incidence ou prévalence, sévérité, mortalité, potentiel épidémique, modes de transmission, existence de mesures de prévention et de contrôle) ;
- importance de la maladie ou du portage chez l'animal (mammifère ou insecte) ;
- déterminants liés au contexte environnemental, qui peut évoluer au cours du temps. Récemment, le changement climatique a été ajouté aux critères antérieurement définis.

Par extension, la même grille de critères a été utilisée pour les pathologies des groupes C et D. Ces critères sont détaillés dans les tableaux présentés en annexe 5.

4.3.2 Impacts attendus

Il importe de rappeler que l'épidémiologie des maladies infectieuses est multifactorielle et que le rôle du changement climatique dans l'émergence ou la réémergence des infections est considéré par de nombreux auteurs [121-123] comme moins important que les autres déterminants. Ces derniers concernent en particulier les facteurs liés à l'hôte (susceptibilité aux infections, baisse immunitaire, infections liées aux soins, pratiques à risque…), à l'agent (mutations, réassortiments) et à l'environnement (modifications sociodémographiques, migrations, urbanisation, alimentation, circulation des personnes et des biens, globalisation des échanges, déséquilibre des écosystèmes, densité accrue des contacts inter-espèces, dégradation économique…).

L'incidence des 13 infections des groupes A et B (infections transmises par des vecteurs et rongeurs) pourrait augmenter du fait du changement climatique, en raison de l'extension de l'habitat des arthropodes ou de l'augmentation de la population des réservoirs animaux (rongeurs). Les infections véhiculées par les moustiques sont rares en métropole, tandis que les infections à tiques sont plus fréquentes (Lyme, fièvre Q). Elles sont pour une grande partie jugées comme graves.

Pour 12/13 de ces infections, les experts du groupe "priorisation de la surveillance des zoonoses non alimentaires" ont conclu que le potentiel d'émergence ou d'extension était important, notamment en raison de la présence de vecteurs compétents et de l'influence possible du réchauffement climatique sur la densité des réservoirs et/ou des vecteurs.

La 13e infection de ce groupe est la fièvre jaune pour laquelle le principal vecteur compétent, *Aedes aegypti*, n'a pas été identifié en France. Néanmoins, la maladie fait déjà l'objet d'une surveillance en raison de sa gravité, notamment à travers la détection des cas importés.

L'incidence des infections à transmission féco-orale (groupe C) pourrait également augmenter. Des ruptures dans la chaîne de froid pourraient provoquer une multiplication des infections d'origine alimentaire (salmonelloses par exemple). De même, une extension des réservoirs environnementaux de vibrions pathogènes par réchauffement des eaux salines des estuaires représente une hypothèse plausible.

L'incidence de la légionellose pourrait également augmenter en cas de réchauffement climatique à travers deux phénomènes possibles : dissémination des bactéries à partir des circuits de refroidissement des systèmes de climatisation, dont l'utilisation serait en hausse, ou augmentation de la température moyenne de l'eau des réseaux d'eau sanitaire pouvant provoquer une multiplication bactérienne.

Les champignons pathogènes représentent un groupe de germes très divers en termes d'épidémiologie, notamment concernant les réservoirs, les modalités de transmission et l'interaction entre l'agent et l'hôte. La majorité de ces champignons est ubiquitaire, saprophyte de l'environnement. Leur pathogénicité est le plus souvent liée à la présence chez l'hôte d'une immunosuppression temporaire ou prolongée, d'étiologie variable : infection à VIH (candidoses, cryptococcoses), pathologies de la lignée hématopoïétique et/ou greffes de moelle (aspergilloses pulmonaires, zygomycoses), etc. Les personnes âgées semblent également représenter un groupe de personnes à risque en raison de déficits immunitaires spécifiques.

Parmi ces populations à risque, certaines pourraient être exposées de manière plus importante (effet dose-réponse) en raison du changement climatique, une augmentation des périodes chaudes et humides pouvant contribuer à une augmentation des moisissures au domicile de ces personnes. Les inondations contribuent également à une augmentation de risque, par une modification de l'écologie des moisissures [124-126].

4.3.3 Propositions en terme de surveillance

Pour la majorité des pathogènes étudiés dans ce rapport, les systèmes de surveillance existants sont certes perfectibles, mais ils existent et paraissent suffisants pour identifier des augmentations de cas et en rechercher la cause, en explorant l'hypothèse du changement climatique comme d'autres hypothèses pouvant expliquer ces augmentations. En fonction des besoins et des conclusions de ces investigations, la pertinence des systèmes actuels sera révisée.

Le réchauffement climatique pourra favoriser de nouvelles émergences, d'où l'importance de pouvoir les détecter et de les caractériser d'un point de vue clinique, épidémiologique, environnemental et microbiologique. Pour ce dernier point, la capacité de laboratoires d'expertises pointus est cruciale et doit être intégrée dans la planification des besoins en Centres nationaux de référence (CNR).

Par exemple, dans le cas de la légionellose, une augmentation des cas déclarés pourrait soulever de nouvelles hypothèses quant au rôle du changement climatique et impliquer de réévaluer les modalités actuelles de surveillance. Dans cette hypothèse, et quelle que soit la cause de l'augmentation observée (changement climatique ou autre cause), un renforcement ou une adaptation de la surveillance sera à définir en temps voulu.

Dans une optique de prévention et de réduction des risques, la question de la surveillance et de la prévention *en amont* est également posée. La surveillance des taux de légionelles dans les tours aéroréfrigérantes pourrait permettre d'anticiper la survenue des infections chez l'homme en cas de dépassement des seuils. La surveillance de la dengue et du chikungunya est renforcée chaque année entre mai et novembre dans les départements du Sud-Est de la France où le vecteur *Aedes albopictus* est implanté. Par ailleurs, on observe une extension progressive de la zone d'habitat de ce vecteur dans le Sud du pays. Là encore, le rôle du changement climatique dans cette extension reste à déterminer, en tenant compte des autres facteurs explicatifs potentiels ; quelle qu'en soit l'explication, l'observation de cette extension des zones d'habitat impose d'adapter la surveillance. Il importe aussi de faire une surveillance des vecteurs qui débordent au-delà des zones habituellement reconnues comme territoires d'implantation de certains vecteurs. La surveillance des vecteurs nécessite d'être renforcée avec une standardisation des indicateurs. Le renforcement de la surveillance des vecteurs doit être pensé à une échelle européenne régionale pour pouvoir évaluer leur extension au-delà des frontières, tout particulièrement pour l'espèce *Aedes albopictus*. En France, l'expertise collective de l'Institut de recherche pour le développement, en 2009, sur la lutte antivectorielle, a recommandé aux pouvoirs publics la création d'un Centre national d'expertise sur les vecteurs (Cnev) dont l'une des priorités sera d'apporter une expertise au développement et à la standardisation des indicateurs de surveillance des vecteurs. Le Cnev devrait être créé en 2010-2011.

Pour les maladies entériques, un contrôle renforcé de la chaîne alimentaire en cas d'augmentation de la température globale pourrait être discuté. La surveillance des infections à vibrions non cholériques pourrait rester basée sur les effets (survenue de la maladie) ou être anticipée à travers un renforcement de la surveillance environnementale. Les infections à *V. parahaemoliticus* sont actuellement rares en France. Elles sont transmises par voie alimentaire (coquillages) et peuvent toucher la population générale. Leur détection est déjà assurée par la déclaration obligatoire des toxi-infections alimentaires collectives (Tiac). Un plan de surveillance des contaminations des coquillages pourrait être envisagé si la maladie devenait plus fréquente en France. D'autres vibrions non cholériques (*V. vulnificus, V. alginolyticus*) ou cholériques (*V.cholera non O1-,non O-139*) ont été rapportés comme étant la cause de diverses infections cutanées ou de la sphère ORL, dans les pays entourant la mer du Nord et la mer Baltique suite aux canicules de 2003 et 2006 [127-129]. Généralement, les personnes présentant des pathologies sous-jacentes (hépatopaties, diabètes, plaies etc) sont à risque de contracter l'infection au moment d'une baignade. En cas de canicule suivie de présence anormalement élevée de vibrions dans les eaux de baignades du littoral, des messages d'alerte pourraient être émis, auprès de la population à risque pour réduire les comportements d'exposition, et auprès des cliniciens pour aider au diagnostic précoce de ces infections. Dans ces différents exemples, il importera de mesurer en amont le bénéfice (sensibilité et efficience) de ces interventions visant à réduire les risques.

Enfin, concernant les champignons pathogènes, il s'agit de germes dont la pathogénicité est limitée aux populations fragilisées, notamment les personnes âgées, les diabétiques et les personnes sévèrement immunodéprimées. La surveillance organisée de ces champignons est pour l'instant cloisonnée : surveillance des aspergilloses invasives en milieu hospitalier, observatoire des levures dans une région définie, etc. Toutefois, l'InVS, en lien avec des cliniciens, mycologues et praticiens hygiénistes, cherche à développer une expertise commune dans ce domaine, afin de mieux connaître l'épidémiologie de ces infections, leurs hôtes susceptibles et les facteurs environnementaux contribuant à la survenue de ces pathologies.

4.3.4 Proposition en terme de connaissance

Certains axes d'amélioration et de recherche sont spécifiques à chaque pathogène (par exemple : améliorer les capacités de diagnostic des maladies, améliorer les connaissances sur les vecteurs et les modalités de transmission…). Ces améliorations spécifiques sont détaillées dans les tableaux de l'annexe 5.

Dans l'optique de prévention et anticipation, il importe de renforcer les interactions entre différentes disciplines, notamment des interactions plus systématiques entre la surveillance environnementale, animale et humaine, à l'exemple de la surveillance effectuée dans les départements du pourtour méditerranéen depuis 2000 (surveillance activée chaque année entre juin et octobre pour les virus West Nile, chikungunya et dengue). C'est sur ce même système que la surveillance des infections à virus *Toscana* a débuté en 2009.

Cependant, le rôle du changement climatique dans l'expansion des vecteurs ou l'introduction, ou non, de nouveaux virus reste à déterminer. Des études virologiques ainsi que des études sur les interactions agent-hôte-environnement pourraient par exemple permettre de mieux comprendre les causes de l'implantation durable, ou non, du virus West Nile dans différents territoires géographiques. Des projets de recherche opérationnelle visant à estimer la part relative des déterminants de survenue ou d'augmentation d'incidence de ces maladies infectieuses, en relativisant au besoin le rôle du changement climatique par rapports aux autres facteurs contribuant à cette émergence, seraient utiles. Ainsi, l'augmentation de l'incidence de la borréliose de Lyme en Europe est souvent mentionnée comme étant causée par le changement climatique (ce dernier provoquant une augmentation de la densité des petits rongeurs, hôtes intermédiaires des tiques). Divers auteurs ont toutefois soulevé des hypothèses contradictoires : en Belgique, une tendance des familles aisées à rechercher des habitations à proximité de forêts pourrait expliquer le phénomène [130] ; dans les pays baltes, en raison de la dégradation économique, des personnes âgées recherchant des champignons pour les vendre auraient tendance à s'exposer de manière prolongée dans les forêts infestées de tiques [131,132]. La notion d'exposition aux risques et de modifications de comportements humains est de plus en plus souvent citée comme étant le facteur principal de certaines émergences attribuées au changement climatique [133,134].

Enfin, des projets de recherche plus génériques doivent être envisagés, par exemple le rôle du climat dans l'épidémiologie de différentes maladies à transmission respiratoire : infections à méningocoque, grippe, autres virus respiratoires.

5. Perspectives

Le changement climatique génère un ensemble d'enjeux entrant dans le champ de l'InVS :
- l'adaptation d'outils de surveillance, d'alerte, et de veille scientifique et prospective ;
- l'interface avec la recherche ;
- la contribution à la mise en place d'actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre par des recommandations et l'évaluation des impacts sanitaires.

Pour cela, l'InVS doit promouvoir :
- un travail en interne sur la surveillance des besoins non encore couverts ;
- l'adaptation de la surveillance existante sur les axes "pas suffisamment couverts", par exemple : la santé mentale, les champignons, l'habitat.

L'InVS doit aussi interagir avec des partenaires pour l'adaptation ou le développement de systèmes de surveillance de l'exposition ou de l'environnement qui permettent d'anticiper l'impact en santé humaine (allergènes, ambroisie, cyanobactéries…).

5.1 Développer les outils de surveillance, d'alerte et de veille scientifique

5.1.1 Renforcer les systèmes existants dans le domaine sanitaire

Pour la plupart des risques potentiellement impactés par le changement climatique, les aspects environnementaux sont souvent surveillés et, la plupart du temps, dans le cadre de réglementations. Les aspects santé font également l'objet, soit de systèmes de surveillance pérennes, soit d'enquêtes ponctuelles.

Il est important de développer et renforcer ces systèmes de surveillance en :
- assurant leur pérennité ;
- améliorant la qualité des données et leur accessibilité ;
- favorisant une meilleure intégration des bases de données environnementales et sanitaires.

Quant aux systèmes d'alerte, ils doivent être conçus de manière à être flexibles et rapidement adaptables à de nouvelles situations.

En complément des systèmes de surveillance spécifiques, la surveillance syndromique dispose d'un potentiel certain pour identifier des situations sanitaires inhabituelles par l'émergence de signaux sanitaires, voire même d'en suivre la progression temporo-spatiale quand les manifestations cliniques sont particulièrement spécifiques (manifestations allergiques en particulier). L'analyse de ces signaux peut ensuite mettre en évidence une menace pour la santé publique. Le suivi en continu des indicateurs d'activité sanitaire peut contribuer à mesurer l'impact d'événements environnementaux ou sociétaux. L'InVS a notamment développé un système de surveillance en temps réel basé sur les services d'urgences (réseau Oscour©). L'objectif de ce système de surveillance est de détecter une menace pour la santé publique et d'évaluer son éventuel impact sur la population le plus rapidement possible. L'enregistrement en routine des données permet également la création de données historique de référence. L'utilisation des codes CIM10 permet ainsi de suivre l'évolution de pathologies sensibles aux conditions météorologiques, par exemple : asthme, effets de la chaleur et du froid, maladies vectorielles, dengue, infections entériques (Tiac dues à la mauvaise conservation des aliments et augmentation de la chaleur). Ainsi, entre juillet 2004 et juin 2008, le réseau Oscour peut identifier deux pics d'asthmes sur la région parisienne en juin 2006 (incidence multipliée par 10 expliquée par la conjonction de chaleur, de pollution, de pollens et d'orage), l'impact de la vague de chaleur de 2006, plusieurs pics d'intoxication au CO en période hivernale, des piqûres d'insectes en périodes estivales (surveillance possible de l'importation d'un nouveau vecteur), et des Tiac.

La valeur ajoutée de cette forme de surveillance sanitaire est particulièrement visible quand ses résultats, disponibles très rapidement, sont utilisés par les décideurs en complément d'autres informations pour la mise en place rapide d'une réponse pour la protection de la santé publique. De plus, le changement climatique peut conduire à des situations hors de l'expérience historique, à l'exemple de la vague de chaleur de 2003, face auxquelles les systèmes de surveillance traditionnels peuvent être peu efficaces. La surveillance syndromique présente alors l'intérêt d'apporter des informations utiles pour la gestion de crise et de repérer des événements inattendus.

Les bases de données médico-administratives pourraient également permettre une analyse des données de consommation de soins (médicaments et consultations), utile par exemple pour le suivi des impacts à moyen et long terme des catastrophes naturelles. Cette approche serait intéressante pour évaluer l'impact sur la santé mentale des personnes impliquées dans la catastrophe. Les données issues de ces bases sont également intéressantes pour le suivi des risques environnementaux, risques hydriques ou pollution de l'air, pourvu que l'on sache préserver l'homogénéité dans le temps des indicateurs épidémiologiques dérivés.

Enfin, les cohortes permettant un recueil de données individuelles pourraient fournir des informations utiles pour le suivi à moyen et long terme de la santé des personnes impliquées dans des événements extrêmes et exposés à leurs conséquences psychosociales.

5.1.2 Développer la surveillance des expositions des populations

La surveillance des expositions est la partie la moins bien réalisée dans la thématique du changement climatique. L'hypothèse qu'en l'absence d'évolution du climat, les comportements évoluent peu et admettant que les contrastes d'exposition reviennent à des contrastes de contamination des milieux, sous-tend les choix de surveillance de l'InVS, qui limite ainsi pratiquement la surveillance de l'exposition à celle de la contamination de milieux. Or, l'hypothèse de constance des

comportements ne tient pas dans un contexte d'évolution climatique rapide. Aussi, la surveillance des comportements pourrait devenir une orientation de première importance pour comprendre, estimer et suivre l'exposition de la population. Pour cela, il serait possible de s'appuyer, par exemple, sur de grandes enquêtes transversales répétées s'intéressant aux habitudes de vie, aux comportements alimentaires, etc.

5.1.3 Renforcer la veille scientifique

La veille consiste en une activité continue, visant à surveiller activement l'environnement scientifique, technologique et sociétal dans un domaine d'activité donné. Cette surveillance passe par l'identification, l'exploitation et l'analyse de sources d'information, qui permettent d'appuyer les scientifiques dans leurs différents projets, et d'anticiper les demandes. Cette action est menée dans le cadre de la mission d'appui à l'aide à la prise de décisions des pouvoirs publics.

Face au changement climatique, la veille scientifique de l'InVS pourrait :
- s'intensifier en direction de l'environnement, de la santé et des actions, tant dans le domaine de la recherche que du point de vue de la santé publique ;
- s'étendre à des revues interdisciplinaires faisant la jonction entre sciences sociales et sciences naturelles, à l'exemple des revues Global environmental change, Global and planetary change ou Climate policy.

5.2 Mieux articuler les liens avec la recherche

Malgré les efforts de recherche menés actuellement, dans de nombreux domaines, on constate qu'il existe un défaut de connaissances sur les interactions climat-environnement-comportements-santé. Pour de nombreux risques pressentis, on ne dispose pas suffisamment d'information pour en tirer des conclusions pour la santé publique et pour la santé, elle-même. Pour ces risques là, la priorité devrait être d'améliorer la compréhension des déterminants environnementaux, comportementaux et sociaux des pathologies, et d'améliorer les modèles environnementaux (par exemple : projections hydrologiques, écologiques…). Un rapport de l'OMS fait spécifiquement le point sur les besoins en recherche [135], et dégage cinq grands axes :
- l'estimation des impacts sanitaires du changement climatique à court, moyen et long terme, aux échelles locales, nationales et internationales ;
- l'évaluation de l'efficacité des mesures interventions et d'adaptation dans le secteur sanitaire ;
- l'évaluation des impacts sanitaires des mesures d'adaptation prises sur d'autres secteurs ;
- le développement d'outils en économétrie de la santé, permettant de prendre en compte des interventions et des impacts sur des périodes de temps longues ;
- le développement de réseaux de recherche interdisciplinaires.

La France dispose de nombreuses équipes de recherche travaillant à l'observation et à la modélisation du changement climatique et de ses impacts [136,137]. Les études sur les impacts sanitaires se sont concentrées principalement sur les maladies infectieuses et sur l'impact des vagues de chaleur. D'autre projets sont en cours de développement dans le cadre du programme gestion et impacts du changement climatique [138] et du Groupement d'intérêt scientifique (GIS) climat-environnement-société [139].

Sur le plan international, des interactions avec le programme de recherche changement climatique et santé des États-Unis sont également envisageables. Les vagues de chaleur et la pollution atmosphérique sont majoritaires dans ce programme [140].

Une collaboration plus étroite entre l'InVS et les chercheurs permettrait d'intégrer dans les travaux de recherche les hypothèses provenant de l'interprétation des systèmes de surveillance et inversement. Dans cette dynamique, il est nécessaire que l'InVS encourage la recherche interdisciplinaire sur différents sujets, par exemple *via* des appels à recherche propre à l'InVS ou interagences mis en place avec des financements InVS dédiés.

5.3 Surveiller les effets sanitaires des actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des actions d'adaptation

5.3.1 Fournir des outils utiles pour la décision et produire des recommandations

La réponse au changement climatique passe par deux actions complémentaires, l'atténuation et l'adaptation. L'atténuation consiste à limiter l'amplitude du changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

Dans le cadre du protocole de Kyoto, la France a pour objectif la stabilisation de ses émissions de gaz à effet de serre au niveau de 1990. L'objectif de l'Union européenne est de limiter le réchauffement à 2 °C d'ici 2050. Pour atteindre cet objectif, les émissions annuelles moyennes mondiales par habitants devraient baisser de 80 à 95 % par rapport aux émissions par habitants des pays développés en 2000 [20].

En France, en 2007, les principaux secteurs d'activité contribuant aux émissions étaient les transports (26 %), le résidentiel tertiaire (18 %), l'industrie manufacturière (20 %), l'industrie de l'énergie (14 %), l'agriculture et la sylviculture (20 %), et le traitement des déchets (2 %) [141].

Ces secteurs sont générateurs de services mais également de risques pour la santé humaine. Les mesures nécessaires pour réduire les émissions s'accompagneront de changements importants qui peuvent générer des impacts sanitaires positifs ou négatifs. Par exemple, prévention des vagues de chaleur, gestion des transports [142], réduction de la pollution atmosphérique [143] et amélioration de l'habitat [102] doivent être abordées de manière concertée et se traduire par des actions de long terme sur l'urbanisme [92,144,145]. Il s'agit ainsi de convaincre les acteurs des politiques de réduction des gaz à effet de serre de prendre en compte les impacts à court, moyen et long termes pour la santé publique.

Suite au Plan climat [146] et au Grenelle de l'environnement [147], plusieurs actions visant à favoriser l'environnement et la santé et contribuant à l'atténuation du changement climatique sont déjà définies, touchant entre autres à l'amélioration énergétique des

bâtiments, à la réduction des émissions liées aux transports et à l'aménagement urbain.

Il est important que ces actions soient menées de manière concertée pour éviter les mesures contre-productives. L'InVS pourrait apporter des données et des outils pour plusieurs de ces plans, par exemple :

- les schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie sont un outil pour la mise en place de politiques intégrées de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et de réduction de la pollution atmosphérique [148] ;
- le Plan national de prévention par l'activité physique ou sportive, dont l'un des objectifs est de développer l'environnement construit pour favoriser les modes de déplacement en mobilité "active" (marche, vélo) depuis le domicile vers l'école, l'université ou l'entreprise, autour de plans de déplacements pertinent, doit compléter les Plans climats-énergie territoriaux ;
- le Plan "restaurer la nature en ville", qui devra prendre en compte le risque allergique dans le choix des espèces retenus ;
- les actions de rénovation énergétiques des bâtiments existants qui doivent être reliées avec la problématique air intérieur.

5.3.2 Utiliser la surveillance épidémiologique pour évaluer les actions

L'un des objectifs de la surveillance épidémiologique est d'élaborer des outils permettant d'évaluer les actions de santé publique. Dans la thématique de changement climatique, un ensemble d'actions sont menées ou doivent être menées (réduction des gaz à effet de serre, messages sanitaires de prévention…). Il faut, dès à présent, identifier les actions pouvant être évaluées et établir les protocoles relatifs à ces évaluations.

5.4 Développement de l'interdisciplinarité

La complexité et l'imbrication des systèmes impliqués dans le changement climatique devraient conduire l'InVS à explorer de nouvelles perspectives plus intégrées pour la résolution des problèmes. L'interdisciplinarité suppose un dialogue et l'échange de connaissances, d'analyses, de méthodes entre deux ou plusieurs disciplines. Elle implique qu'il y ait une appropriation des différents aspects et un enrichissement mutuel par l'ensemble des spécialistes [149]. Elle permet de comprendre et de décrire la situation dans sa globalité, en mettant en perspective ses dimensions sociales, économiques, culturelles, éthiques et politiques, et en mettant en évidence les interactions entre ces dimensions. Les questions soulevées par le changement climatique rendent cette interdisciplinarité indispensable, entre sciences du climat, de l'environnement, sciences sociales et épidémiologie, par exemple : pour définir les besoins en données, pour comprendre le rôle des comportements, pour améliorer l'étude de l'impact des événements extrêmes. Des collaborations avec les naturalistes et les vétérinaires sont également nécessaires pour observer l'évolution des parasites et vecteurs de maladie, compte tenu des changements de température ainsi que des conditions écologiques du fait des modifications apportées par l'activité humaine.

Le développement de l'interdisciplinarité nécessite cependant un temps important. Elle est déjà engagée au sein de l'InVS, sur le sujet du changement climatique et sur le sujet des émergences. Elle pourrait être développée avec d'autres agences. Un exemple intéressant pourrait être porté par les événements extrêmes. Lors de ces événements, les impacts sur le long terme, concernant la santé mentale, sont les plus préoccupants. Or, ils s'appuient sur une chaîne de modifications, une propagation de l'impact dans les différents secteurs de la société, qui peut être décrites avec l'appui des sciences de l'environnement, des sciences humaines et sociales de l'économie. La construction de l'interdisciplinarité en s'intégrant dans des réseaux existants, à l'exemple du GIS climat-environnement-société, ou en développant de nouveaux partenariats, demande cependant une préparation et une gestation importantes autour d'objectifs partagés [150,151] pour ne pas risquer l'échec et/ou le découragement.

5.5 Développer des collaborations internationales

L'InVS devrait maintenir et renforcer les collaborations internationales permettant le partage de connaissances et d'expériences riches en enseignements pratiques, en exploitant notamment l'idée des "pays analogues", pays qui connaissent actuellement un climat similaire à celui qui est projeté dans les années à venir. Les projets européens permettent également de partager des expériences et de développer de nouvelles méthodes pour aborder des aspects complexes. On peut citer deux exemples auxquels l'InVS a contribué : le projet EuroHeat pour le développement de systèmes d'alerte et de plan de prévention des canicules en Europe, qui donne accès à neuf plans de prévention de différents pays européens (www.euro.who.int/globalchange/Topics/20040728_1), et le projet Intarese qui permet de développer un cadre conceptuel pour l'analyse de systèmes complexes, l'évaluation des risques et la communication sur les incertitudes (www.intarese.org/).

L'InVS contribue aussi par des manifestations organisées par divers partenaires sous forme de consultation (par exemple : consultation de l'OMS sur les priorités de recherche) ou de séminaires (par exemple : séminaire franco-américain sur les impacts du changement climatique sur les maladies infectieuses).

Ces collaborations sont aussi essentielles pour contribuer à la prise en compte des aspects sanitaires du changement climatique dans les négociations et décisions internationales. L'OMS et différentes associations non-gouvernementales jouent un rôle important à ce niveau.

Enfin, le changement climatique impacte de manière simultanée l'ensemble de la planète et exacerbe les inégalités. Or, sur de nombreux sujets, l'InVS dispose d'une expertise qui pourrait être partagée avec d'autres pays dont la réflexion sur le sujet est moins développée pour leur permettre de s'adapter au changement climatique.

Références bibliographiques

[1] Haines A, Kovats S, Campbell-Lendrum D, Corvalan C. Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. Lancet 2006;367:2101-9.

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

[3] Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Hanson CE. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. IPCC: United Kingdom and New York, NY, USA;2007.

[4] Solomon S, Quin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB *et al.* Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA:IPCC;2007.

[5] Observatoire national des effets du réchauffement climatique. Changement climatique et risques sanitaires en France. Paris;2007.

[6] Observatoire national des effets du réchauffement climatique. Changement climatique coûts des impacts et pistes d'adaptation;2010.

[7] European Commission. Green paper from the Commission to the Council, the European Parliament, the European economic and social Committee and the Committee of the regions – adapting to climate change in Europe – options for EU action;2007.

[8] World Health Organization. Regional office for Europe, Santé Canada, United Nations environment programme, Organisation météorologique mondiale. Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change. Copenhague: WHO Regional Office for Europe;2003.

[9] World Health Organization, United Nations environment programme, Organisation météorologique mondiale. Climate change and human health. Risks and responses. Genève: WHO;2003.

[10] Observatoire national des effets du réchauffement climatique. Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique. Paris;2007.

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

[12] Hulme M, Dessai S, Lorenzoni I, Nelson D. Unstable climates: exploring the statistical and social constructions of 'normal' climate. Geoforum 2009;40:197-206.

[13] Organisation météorologique mondiale. Bulletin sur les gaz à effets de serre – bilan des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère d'après les observations effectuées à l'échelle du globe en 2008. 9 A.D. Sep 23.

[14] Observatoire national des effets du réchauffement climatique. Indicateurs des conséquences du changement climatique. Onerc website 2008.

[15] European Environment Agency. Indicators on climate change impacts and on greenhouse gas emissions and projections. EEA website 2009.

[16] Ebi KL, Lewis N, Corvalan C. Climate variability and change and their health effects in small island states: information for adaptation planning in the health sector;2005.

[17] Observatoire national des effets du réchauffement climatique. Climat futur en France. Onerc website 2010.

[18] Hiederer R, Lavalle C. Geographic position of Europe for end-of-century temperature equivalent. Special publication JRC Pubsy N. 50603. 2009.

[19] International Union for the Conservation of Nature. Changement climatique et biodiversité dans l'outre-mer européen;2008.

[20] Allison I, Bindoff NL, Binschadler RA, Cox PM, de Noblet N, England MH *et al.* The Copenhagen diagnosis – updating the world on the latest climate science. 2009.

[21] Hulme M. Abrupt climate change: can society cope? Tyndall Centre for climate change research;2003.

[22] Brutel C, Omalek L. Projections démographiques pour la France, ses régions et ses départements à l'horizon 2030;2009.

[23] Observatoire national des effets du réchauffement climatique. Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France-rapport d'étape;2008.

[24] Kaplan GA. What is the role of the social environment in understanding inequalities in health? Ann N Y Acad Sci 1999;896:116-9.

[25] Fouillet A, Rey G, Laurent F, Pavillon G, Bellec S, Guihenneuc-Jouyaux C, Clavel J, Jougla E, Hemon D. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. Int Arch Occup Environ Health 2006;80:16-24.

[26] Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Le Tertre A, Frayssinet P, Bessemoulin P, Laurent F, De Crouy-Chanel P, Jougla E, Hemon D. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. Int J Epidemiol 2008;37:309-17.

[27] Direction générale de la santé. Le Plan canicule 2008;2008.

[28] Pascal M, Laaidi K, Ledrans M, Baffert E, Caserio-Schonemann C, Le Tertre A, Manach J, Medina S, Rudant J, Empereur-Bissonnet P. France's heat health watch warning system. Int J Biometeorol 2006;50:144-53.

[29] World Health Organization Regional Office for Europe, German Weather Service, London School of Hygiene and Tropical Medicine. Heat-waves: risks and responses. Copenhague: WHO Regional Office for Europe;2004.

[30] Lorente C, Sérazin C, Salines G, Adonias G, Gourvellec G *et al*. Étude des facteurs de risque de décès des personnes âgées résidant en établissement durant la vague de chaleur d'août 2003. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, janvier 2005, 114 p. Disponible sur : www.invs.sante.fr

[31] Hajat S, Sheridan SC, Allen MJ, Pascal M, Laaidi K, Yagouti A, Bickis U, Tobias A, Bourque D, Armstrong BG, Kosatsky T. Which days of hot weather are identified as dangerous by heat-health warning systems? A comparison of the predictive capacity of different approaches. American journal of public health 2009;In press.

[32] O'Neill MS, Carter R, Kish JK, Gronlund CJ, White-Newsome JL, Manarolla X, Zanobetti A, Schwartz JD. Preventing heat-related morbidity and mortality: new approaches in a changing climate. Maturitas 2009;64:98-103.

[33] Matthies F, Biokler G, Cardenosa M, Hales S. Heat health action plans. 2009.

[34] Pascal M. Commentary: our next challenge in heatwave prevention. Int J Epidemiol 2008;37:1365-6.

[35] Fouillet A, Josseran L. Surveillance de la mortalité en France au cours de l'hiver 2008-2009, premiers éléments. Bull Epidemiol Hebd 2009;15:133-7.

[36] Phillips DP, Jarvinen JR, Abramson IS, Phillips RR. Cardiac mortality is higher around Christmas and New Year's than at any other time: the holidays as a risk factor for death. Circulation 2004;110:3781-8.

[37] Kunst AE, Looman CW, Mackenbach JP. Outdoor air temperature and mortality in The Netherlands: a time-series analysis. Am J Epidemiol 1993;137:331-41.

[38] Reichert TA, Simonsen L, Sharma A, Pardo SA, Fedson DS, Miller MA. Influenza and the winter increase in mortality in the United States, 1959-1999. Am J Epidemiol 2004;160:492-502.

[39] Healy JD. Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. J Epidemiol Community Health 2003;57:784-9.

[40] Loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages (1) – Loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages (1);2003.

[41] Cire Antilles-Guyane. Surveillance des conséquences sanitaires du cyclone Dean. Bulletin d'alerte et de surveillance Antilles-Guyane;2007.

[42] Cire Antilles-Guyane. Préparation épidémiologique aux catastrophes naturelles. Bulletin d'alerte et de surveillance Antilles-Guyane 9;2008.

[43] Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, European Commission;2007.

[44] Clus-Auby C, Paskoff R, Verger P. Impact du changement climatique sur le patrimoine du conservatoire du littoral. Scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100;2005.

[45] Barnett J. Adapting to climate change in pacific island countries: the problem of uncertainty. World development 2001;29:977-93.

[46] Mission interministérielle de l'effet de serre. Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIe siècle; 2010.

[47] Lasalle JL. Surveillance épidémiologique suite aux inondations survenues à Arles – Décembre 2003-Janvier 2004. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, février 2005, 28 p. Disponible sur : www.invs.sante.fr

[48] Six C, Mantey K, Franke F, Pascal L, Malfait P. Étude des conséquences psychologiques des inondations à partir des bases de données de l'Assurance maladie;2008.

[49] Carfatan E, Gaulme M, Thevenet A. Évaluation et gestion des risques liés aux polluants atmosphériques résultant des feux de forêt;2004.

[50] Wegesser TC, Pinkerton KE, Last JA. California wildfires of 2008: coarse and fine particulate matter toxicity. Environ Health Perspect 2009;117:893-7.

[51] Moore D, Copes R, Fisk R, Joy R, Chan K, Brauer M. Population health effects of air quality changes due to forest fires in British Columbia in 2003: estimates from physician-visit billing data. Can J Public Health 2006;97:105-8.

[52] Mott JA, Mannino DM, Alverson CJ, Kiyu A, Hashim J, Lee T, Falter K, Redd SC. Cardiorespiratory hospitalizations associated with smoke exposure during the 1997, Southeast Asian forest fires. Int J Hyg Environ Health 2005;208:75-85.

[53] Economic commission for Europe. Health risks of air pollution from biomass combustion. 2009. Report No: ECE/EB.AIR/WG.1/2009/12.

[54] Naeher L, Brauer M, Lipsett M, Zelikoff J, Simpson C, Koening J, Smith K. Woodsmoke health effects: a review. Inhalation toxicology 2007;19:67-106.

[55] Berry HL, Kelly B, Hanigan I, Coates J, McMichael AJ, Welsh J *et al.* Rural mental health impact of climate change;2008.

[56] Berry HL, Bowen K, Kjellstrom T. Climate change and mental health: a causal pathways framework. Int J Public Health 2009.

[57] Larrieu S, Lefranc A, Gault G, Chatignoux E, Couvy F, Jouves B, Filleul L. Are the short-term effects of air pollution restricted to cardiorespiratory diseases? Am J Epidemiol 2009;169:1201-8.

[58] Larrieu S, Jusot JF, Blanchard M, Prouvost H, Declercq C, Fabres P, Pascal L, Le Tertre A, Wagner V, Riviere S, Chardon B, Borrelli D, Cassadou S, Eilstein D, Lefranc A. Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities: the Psas program. Sci Total Environ 2007;387:105-12.

[59] Vautard R, Beekmann M, Desplat J, Hodzic A, Morel S. Air quality in Europe during the summer of 2003 as a prototype of air quality in a warmer climate. C R Geoscience 2007;339:747-63.

[60] Filleul L, Cassadou S, Medina S, Fabres P, Lefranc A, Eilstein D, Le Tertre A, Pascal L, Chardon B, Blanchard M, Declercq C, Jusot JF, Prouvost H, Ledrans M. The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. Environ Health Perspect 2006;114:1344-7.

[61] Stedman JR. The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. Atmospheric Environment 2004;38:1087-90.

[62] Schär C, Vidale PL, Thi DL, Frei C, Häberli C, Liniger M, Appenzeller C. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature 2004;427:332-6.

[63] Devolder P. Qualité de l'air et changement climatique : de multiples et complexes interactions. Pollution atmosphérique 2009 (numéro spécial):41-53.

[64] Bollen J, van der Zwaan B, Brink C, Eerens H. Local air pollution and global climate change: a combined cost-benefit analysis. Resource and energy economics 2009;31:161-81.

[65] International Risk Governance Council. The linkages between air quality and climate policies: governance deficits and challenges;2010.

[66] AirParif. Gaz à effet de serre et polluants atmosphèrique. AirParif actualités 2009;33:1-8.

[67] Bell ML, Davis D, Cifuentes E, Krupnick A, Morgenstern R, Thurston G. Ancillary human health benefits of improved air quality resulting from climate change mitigation. Environ Health 2008;7.

[68] Ebi KL, McGregor G. Climate change, tropospheric ozone and particulate matter, and health impacts. Environ Health Perspect 2008;116:1449-55.

[69] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Politiques combinées de gestion de la qualité de l'air et du changement climatique (partie 1) : enjeux, synergies et antagonismes. 2009. Report N°.: DRC-09-103681-02123A.

[70] Kinney PL. Climate change, air quality, and human health. Am J Prev Med 2008;35:459-67.

[71] Richert P. Qualité de l'air et changement climatique : un même défi, une même urgence. Une nouvelle gouvernance pour l'atmosphère. Paris : la documentation française; 2007.

[72] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Interactions entre pollution atmosphérique et changement climatique;2009.

[73] Forkel R, Knoche R. Regional climate change and its impact on photooxidant concentrations in southern Germany: simulations with a coupled regional climate-chemistry model. J Geophys Res;2006.

[74] Guillam MT, Ségala C. Pollens et effets sanitaires : synthèse des études épidémiologiques. Revue générale. Rev Fr Allergol Immunol Clin 2008;48:14-9.

[75] Baffert E, Allo JC, Beaujouan L, Soussan V. Les recours pour asthme dans les services d'urgence d'île-de-France, 2006-2007. Bull Epidemiol Hebd 2009;1:4-8.

[76] Beggs PJ, Bambrick HJ. Is the global rise of asthma an early impact of anthropogenic climate change? Environ Health Perspect 2005;113:915-9.

[77] Kienast F, Zimmermann NE, Wildi O. Évolutions possibles des aires de répartition des principales essences forestières en fonction des scénarios de changement climatique. Rev For Fr 2000;52:119-26.

[78] Damialis A, Halley JM, Gioulekas D, Mavromatis T, Vokou D. Airborne allergenic pollen and climate change. 2006. Eur Ann Allergy Clin Immunol 2010;38:264.

[79] Menzel A, Sparks TH, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Alm-Kübler K, Bissolli P, Braslavska O, Briede A, Chmielewski FM, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl A, Defila C, Donnelly A, Jatszak K, Mage F, Mestre A. European phenological response to climate change matches the warming pattern. Glob Change Biol 2006;12:1969-76.

[80] Ahlholm JU, Helander ML, Savolainen J. Genetic and environmental factors affecting the allergenicity of birch (Betula pubescens ssp. czerepanovii [ORL.] Hamet-ahti) pollen. Clin Exp Allergy 1998;28:1384-8.

[81] Levetin E, Van de WP. Changing pollen types/concentrations/distribution in the United States: fact or fiction? Curr Allergy Asthma Rep 2008;8:418-24.

[82] Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka JG. Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health. J Allergy Clin Immunol 2003;111:290-5.

[83] Singer BD, Ziska LH, Frenz DA, Gebhard DE, Straka JG. Increasing Amb a 1 content in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen as a function of rising atmospheric CO_2 concentration. Funct Plant Biol 2005;32:667-70.

[84] Kimball BA, Mauney JR, Nakayma FS, Idso SB. Effects of increasing atmospheric CO_2 on vegetation. Vegetatio 1993;104-105:65-74.

[85] Wayne P, Foster S, Connolly J, Bazzaz F, Epstein P. Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia L.*) is increased in CO_2-enriched atmospheres. Ann Allergy Asthma Immunol 2002;88:279-82.

[86] Burr ML. Grass pollen: trends and projections. Clin Exp Allergy 2010;29:735-8.

[87] Kopferschmitt-Kubler MC, Pauli G. Pollens et pollution. Rev Fr Allergol Immunol Clin 1999;39:283-8.

[88] Svartengren M, Strand V, Bylin G, Jarup L, Pershagen G. Short-term exposure to air pollution in a road tunnel enhances the asthmatic response to allergen. Eur Respir J 2000;15:716-24.

[89] Laaidi M, Laaidi K, Besancenot JP. Synergie entre pollens et polluants chimiques de l'air : les risques croisés. Environnement, risques et santé 2002;1:42-9.

[90] Annesi-Maesano I, Oryszczyn MP. La rhinite de l'adolescent. Résultats de l'enquête ISAAC. Rev Fr Allergol Immunol Clin 1998;283-9.

[91] Ishizaki T, Koizumi K, Ikemori R, Ishiyama Y, Kushibiki E. Studies of prevalence of Japanese cedar pollinosis among the residents in a densely cultivated area. Ann Allergy 1987;58:265-70.

[92] European Environment Agency. Ensuring quality of life in Europe's cities and towns – tackling the environmental challenges driven by European and global change;2009.

[93] Emberlin J, Detandt M, Gehrig R, Jaeger S, Nolard N, Rantio-Lehtimaki A. Responses in the start of Betula (birch) pollen seasons to recent change in spring temperature across Europe. Int J Biometeorol 2002;46:159-70.

[94] Beggs PJ. Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. Clin Exp Allergy 2004;34:1507-13.

[95] Verrier A, Corbeaux I, Lasalle JL, Corbel C, Fouilhé Sam-Lai N, de Baudouin C, Elstein D. Les intoxications au monoxyde de carbone survenues en France métropolitaine en 2006. Bull Epidemiol Hebd 2008;44.

[96] Anderson BG, Bell ML. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. Epidemiology 2009;20:205-13.

[97] Vandentorren S, Bretin P, Zeghnoun A, Mandereau-Bruno L, Croisier A, Cochet C, Riberon J, Siberan I, Declercq C, Ledrans M. August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. Eur J Public Health 2006;16:583-91.

[98] Healy JD. Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. J Epidemiol Community Health 2003;57:784-9.

[99] World Health Organization. WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould;2009.

[100] Ezratty V, Duburcq A, Emery C, Lambrozo J. Liens entre l'efficacité énergétique du logement et la santé des résidents : résultats de l'étude européenne LARES. Environnement, risques et santé 2009;8:497-506.

[101] World Health Organization. Housing, energy and thermal comfort;2007.

[102] Wilkinson P, Smith KR, Davies M, Adair H, Armstrong BG, Barrett M, Bruce N, Haines A, Hamilton I, Oreszczyn T, Ridley I, Tonne C, Chalabi Z. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: household energy. Lancet 2009.

[103] Salagnac JL, Sacré C. Impact du changement climatique sur le cadre bâti. Rapport intermédiaire. Action de recherche n° 2002 DESH 006. Paris : Direction générale de l'urbanisme et de la construction;2003.

[104] Smargiassi A, Fournier M, Griot C, Baudouin Y, Kosatsky T. Prediction of the indoor temperatures of an urban area with an in-time regression mapping approach. J Expo Sci Environ Epidemiol 2008;18:282-8.

[105] Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, Institut de veille sanitaire, Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé. Ultraviolets : état des connaissances sur l'exposition et les risques sanitaires – mai 2005;2005.

[106] SA Oliveria. Sun exposure and risk of melanoma. Arch Dis Child 2006;91:131-8.

[107] Ory P. L'invention du bronzage : essai d'une histoire culturelle. Éditions complexe 2008.

[108] World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. Health criteria and other supporting information. Second edition. ed. Geneva: 1996.

[109] Davison A, Howard G, Stevens M, Callan P, Fewtrell L, Deere D, *et al.* Water safety plans: managing drinking-water quality from catchment to consumer. Genova: World Health Organization;2005.

[110] Hrudey SE. Chlorination disinfection by-products, public health risk tradeoffs and me. Water Res 2009;43:2057-92.

[111] De Toni A, Touron-Bidilis A, Wallet F. Effet du changement climatique sur les micro-organismes aquatiques pathogènes : quelques exemples. ERS 2009;8:311-21.

[112] Chenille *Lithosia quadra* : contacts et effets sur la santé. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, août 2008, 6 p. Disponible sur : www.invs.sante.fr.

[113] De Chazal J, Rounsevell M. Land-use and climate change within assessments of biodiversity change : a review. Global environmental change 2009;19:306-15.

[114] BRGM. Bases de données relatives à la qualité des sols – contenu et utilisation dans le cadre de la gestion des sols pollués;2008.

[115] Institut national de la recherche agronomique. Réseau de mesure de la qualité des sols;2009.

[116] Climsoil. Review of existing information on the interrelations between soil and climate change;2008.

[117] Noyes PD, McElwee MK, Miller HD, Clark BW, Van Tiem LA, Walcott KC, Erwin KN, Levin ED. The toxicology of climate change: environmental contaminants in a warming world. Environ Int 2009;35:971-86.

[118] Bloomfield JP, Williams RJ, Gooddy DC, Cape JN, Guha P. Impacts of climate change on the fate and behaviour of pesticides in surface and groundwater – a UK perspective. Sci Total Environ 2006;369:163-77.

[119] Forum intergouvernemental sur la sécurité chimique. Gestion des produits chimiques pour protéger la santé face au changement climatique;2008.

[120] Capek I, Vaillant V, Mailles A, De Valk H. Définition de priorités et actions réalisées dans le domaine des zoonoses non-alimentaires, 2000-2005. Bull Epidemiol Hebd 2006;27-28:196-9.

[121] Rodhain F. Le changement du climat peut-il avoir un effet sur les maladies infectieuses ? Responsabilité et environnement 2008;51:35-41.

[122] Desenclos JC, De Valk H. Les maladies infectieuses émergentes : importance en santé publique, aspects épidémiologiques, déterminants et prévention. Med Mal Infect 2005;35:49-61.

[123] Woolhouse ME, Gowtage-Sequeria S. Host range and emerging and reemerging pathogens. Emerg Infect Dis 2005;11:1842-7.

[124] Health Canada. Residential indoor air quality guidelines;2007.

[125] Etzel RA. Indoor and outdoor air pollution: tobacco smoke, moulds and diseases in infants and children. Int J Hyg Environ Health 2007;210:611-6.

[126] Terr AI. Sick building syndrome: is mould the cause? Med Mycol 2009;47 Suppl 1:S217-S222.

[127] Frank C, Littman M, Alpers K, Hallauer J. *Vibrio vulnificus* wound infections after contact with the Baltic Sea, Germany. Euro Surveill 2006;11:E060817.

[128] Andersson Y, Ekdahl K. Wound infections due to *Vibrio cholerae* in Sweden after swimming in the Baltic Sea, summer 2006. Euro Surveill 2006;11:E060803.

[129] Schets FM, van den Berg HH, Demeulmeester AA, van DE, Rutjes SA, van Hooijdonk HJ, de Roda Husman AM. *Vibrio alginolyticus* infections in the Netherlands after swimming in the North Sea. Euro Surveill 2006;11:E061109.

[130] Linard C, Lamarque P, Heyman P, Ducoffre G, Luyasu V, Tersago K, Vanwambeke SO, Lambin EF. Determinants of the geographic distribution of Puumala virus and Lyme borreliosis infections in Belgium. Int J Health Geogr 2007;6:15.

[131] Sumilo D, Asokliene L, Bormane A, Vasilenko V, Golovljova I, Randolph SE. Climate change cannot explain the upsurge of tick-borne encephalitis in the Baltics. PLoS One 2007;2:e500.

[132] Lindquist L, Vapalahti O. Tick-borne encephalitis. Lancet 2008;371:1861-71.

[133] Reiter P, Lathrop S, Bunning M, Biggerstaff B, Singer D, Tiwari T, Baber L, Amador M, Thirion J, Hayes J, Seca C, Mendez J, Ramirez B, Robinson J, Rawlings J, Vorndam V, Waterman S, Gubler D, Clark G, Hayes E. Texas lifestyle limits transmission of dengue virus. Emerg Infect Dis 2003;9:86-9.

[134] Randolph SE. Tick-borne encephalitis virus, ticks and humans: short-term and long-term dynamics. Curr Opin Infect Dis 2008;21:462-7.

[135] World Health Organization. Protecting health from climate change global research priorities;2009.

[136] Institut national des sciences de l'univers. Les recherches françaises sur le changement climatique;2007.

[137] Association française pour la prévention des catastrophes naturelles. Études françaises sur l'adaptation au changement climatique;2009.

[138] Programme gestion et impacts du changement climatique;2009.

[139] GIS climat environnement société;2009.

[140] Jouan R, Magaud M. Changement climatique et santé aux États-Unis : impacts, adaptations et recherche. 2009.

[141] Ministère de l'Écologie de l'Énergie du Développement durable et de la Mer. La France face à ses engagements internationaux climat en 2007 : résultats d'inventaire d'émission de gaz à effet de serre pour le périmètre Kyoto. 2009.

[142] Woodcock J, Edwards P, Tonne C, Armstrong BG, Ashiru O, Banister D, Beevers S, Chalabi Z, Chowdhury Z, Cohen A, Franco OH, Haines A, Hickman R, Lindsay G, Mittal I, Mohan D, Tiwari G, Woodward A, Roberts I. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. Lancet 2009.

[143] Smith KR, Jerrett M, Anderson HR, Burnett RT, Stone V, Derwent R, Atkinson RW, Cohen A, Shonkoff SB, Krewski D, Pope CA, Thun MJ, Thurston G. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants. Lancet 2009.

[144] Bloomberg MR, Aggarwala RT. Think locally, act globally: how curbing global warming emissions can improve local public health. Am J Prev Med 2008;35:414-23.

[145] Dawson R, Hall J, Barr S, Batty M, Bristow A, Carney S *et al.* A blueprint for the integrated assessment of climate change in cities. 2009. Report N°.: Working paper 129.

[146] Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer. Plan climat;2004.

[147] Grenelle de l'environnement. Groupe I – lutter contre les changements climatiques et maitriser l'énergie – synthèse et principales mesures;2008.

[148] Projet de loi portant engagement national pour l'environnement – titre III – énergie et climat, projet de loi portant engagement national pour l'environnement – titre III – énergie et climate;2009.

[149] Etévée C, Champy P. Dictionnaire encyclopédique de l'enseignement et de la formation;1994.

[150] Blanchard A, Vanderlinden JP. Selected annotated bibliography on interdisciplinary science/studies;2009.

[151] Blanchard A, Vanderlinden JP. Are the challenges of interdisciplinary structuring and the challenges of science and policy-making integration the two faces of the same coin? A global research case study;2009.

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

[153] Department of Health. Health impacts of climate change: adaptation strategies for Western Australia. 2008.

[154] English P, Sinclair A, Ross Z, Anderson HR, Boothe V, Davis C, Ebi KL, Kagey B, Malecki K, Shultz R, Simms E. Environmental health indicators of climate change for the united states: findings from the stat environmental health indicator collaborative. Environ Health Perspect 2009.

[155] McMichael AJ, Woodruff RE, Whetton P, Hennessy K, Nicholls N, Hales S *et al.* Human health and climate change in Oceania: a risk assessment 2002;2002.

[156] Haut conseil de santé publique. Avis relatif aux risques pour la santé liés aux effets qualitatifs du changement climatique;2009.

[157] Intergovernmental panel on climate change. Rapport spécial du Giec : scénarios d'émissions;2000.

[158] Intergovernmental panel on climate change. Climate change: a glossary by the intergovernmental panel on climate change;1995.

[159] Ebi KL, Semenza JC. Community-based adaptation to the health impacts of climate change. Am J Prev Med 2008;35:501-7.

Annexe 1 – Exemples de démarches utilisées dans la littérature pour identifier les risques sanitaires associés aux changements climatiques

Le rapport canadien [152] s'appuie sur des consultations et des enquêtes auprès d'experts pour sélectionner des risques et identifier la vulnérabilité de la population (tableau 4).

En Australie, la sélection des risques s'est faite lors d'un atelier au cours duquel des experts devaient se prononcer sur les risques sanitaires associés à l'augmentation des événements extrêmes, l'augmentation des températures, la baisse de la pluviométrie et l'augmentation du niveau de la mer. L'intérêt de leur démarche est d'avoir séparé les impacts rapides et graduels, et d'avoir pris en compte les impacts dérivant de modifications sociétales [153] (tableau 5).

La démarche française consiste à répertorier tous les impacts potentiels des différentes modifications des paramètres météorologiques (impact des températures, précipitation, vent, humidité, nébulosité) auxquels les experts pouvaient penser. L'avantage de cette démarche est de fournir un tableau très détaillé des impacts possibles, avec plus d'une quarantaine de risques identifiés [23] (tableau 6). L'inconvénient est de présenter une image très fragmentée du changement climatique, paramètre par paramètre, alors que la santé est un intégrateur de différentes situations.

Le travail réalisé aux États-Unis [154] se concentre sur le développement d'indicateurs permettant d'évaluer la vulnérabilité de la population au changement climatique et de proposer des actions de prévention dans le domaine de la santé. Il s'appuie sur une revue de la littérature pour sélectionner les risques et les indicateurs associés. Les risques retenus sont la pollution de l'air, les vagues de chaleur, les allergènes, les feux de forêts, la sécheresse, les blooms d'algues toxiques, les maladies infectieuses. Les indicateurs identifiés sont principalement issus de systèmes de surveillance environnementaux. En termes sanitaires, les indicateurs proposés sont la mortalité et la morbidité liée aux vagues de chaleur, aux événements extrêmes, à la pollution de l'air et aux allergènes, le nombre de cas de maladies infectieuses (West Nile, maladie de Lyme, dengue, Coccidioiomycosis, Hantavirus Cardiopulmonary Syndrome) et du compte des vecteurs.

Ces différentes approches s'appuyant principalement sur du jugement d'experts sont très similaires et aboutissent à des listes de risques identiques, avec quelques spécificités régionales ; augmentation en fréquence et en intensité des événements extrêmes, émergence ou réémergence de risques infectieux, modifications de l'environnement et des modes de vie entraînant de nouvelles expositions.

| Tableau 4 |

Risques pour la santé liés au changement climatique – Adapté du rapport canadien [152]

Effets possibles des changements climatiques	Risques sanitaires
- Augmentation de la fréquence et de la gravité des vagues de chaleur - Réchauffement général mais conditions plus froides possibles dans certaines régions	- Maladies et décès liés à la chaleur - Troubles respiratoires et cardio-vasculaires - Changement dans la répartition des maladies et de la mortalité dues au froid
- Augmentation de la fréquence et de la violence des orages, augmentation de la gravité des ouragans, et autres formes de temps violent - Fortes pluies causant des glissements de terrains et des inondations - Élévation du niveau de la mer et instabilité du littoral - Accroissement des sécheresses dans certaines régions - Perturbations sociales et économiques	- Décès, blessures et maladies imputables aux orages violents, inondations… - Dommages sociaux et émotionnels, santé mentale - Pénuries d'eau et de nourriture - Contamination de l'eau potable - Hébergement des populations et surpopulations dans les centres d'hébergement d'urgences
- Augmentation de la pollution atmosphérique - Augmentation de la production de pollens et de spores par les plantes	- Exacerbation des symptômes de l'asthme, des allergies - Maladies respiratoires et cardio-vasculaires - Cancers - Décès prématurés
- Contamination de l'eau potable et de l'eau utilisée à des fins récréatives - Proliférations d'algues et une augmentation des concentrations en toxines dans les poissons et fruits de mer - Changement des comportements liés aux températures les plus chaudes	- Éclosions de souches de micro-organismes, amibes et autres agents infectieux d'origine hydrique - Maladies liées à la nourriture - Autres maladies diarrhéiques et intestinales
- Changement de la biologie et de l'écologie de vecteurs de maladies (y compris la répartition géographique) - La maturation plus rapide des agents pathogènes dans les insectes et tiques vecteurs de maladies - Allongement de la saison de transmission des maladies	- Augmentation de l'incidence des maladies infectieuses à transmission vectorielle indigène - Émergence de maladies infectieuses
- Appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique - Changements dans la chimie de l'atmosphère de l'ozone stratosphérique - Accroissement de l'exposition aux UV	- Cancers de la peau, cataractes, dommages des yeux - Troubles divers du système immunitaire

| Tableau 5 |

Classement des risques pour la santé – Adapté du rapport australien [153]

Niveau de priorité	Risques sanitaires
Extrême	Événements extrêmes Vague de chaleur UV Sécheresse, ressource en eau potable et alimentation Accès réduit aux systèmes de santé, à l'eau potable et à l'alimentation Incapacité à satisfaire les demandes en énergie
Extrême/élevé	Feux Qualité de l'air
Élevé	Inondation Qualité de l'eau potable Qualité de l'eau à usage récréatif Changement dans la distribution des vecteurs de maladies Allergènes Intoxications alimentaires Rupture du lien social Santé mentale Changement dans la biodiversité Pertes de biens et de services
Élevé/moyen	Pathogènes dans les eaux non-potables
Moyen	Exposition aux composés organiques volatils Legionellose Mycotoxines Pathogènes dans l'alimentation Arthropodes et nuisibles Aliments importés Changement dans l'incidence des crimes, accidents, consommation d'alcool
Moyen/faible	Perte de sommeil
Faible	Exposition aux pesticides Exposition aux contaminants chimiques

| Tableau 6 |

Risques pour la santé liés au changement climatique – Adapté du rapport français [23]

Événements	Conséquences
Augmentation exposition UV (temps d'exposition et baisse couche d'ozone)	Cancers cutanés, mélanomes, effets dermatologiques et ophtalmologiques
Augmentation de la saison pollinique et changement d'espèces	Augmentation des pollinoses
Baisse de la qualité de l'air	Mortalité, morbidité
Augmentation de l'utilisation des pesticides pour garder un rendement agricole	
Baisse niveau nappes phréatiques	Restriction d'eau
Mouvement des sols	Destructions des bâtiments, santé mentale
Feux de forêts	Mortalité, santé mentale, qualité de l'air
Élévation du niveau de la mer	Santé mentale
Modifications des rythmes saisonniers des agents pathogènes et vecteurs	
Modification des écosystèmes des vecteurs	Expansion, modification reproduction
Augmentation de la température hivernale	Baisse de la mortalité hivernale
Assèchements mare et cours d'eau	Suppression de réservoirs
Proliférations des amibes	Arrêt des centrales nucléaires
Baisse niveau des rivières	Modification des systèmes productions et traitement eau
Modification de la structure des sols	Relargage d'agents pathogènes
Baisse niveau des rivières	Baisse de la qualité de la ressource eau
Baisse niveau nappes phréatiques	Augmentation de la vulnérabilité des captages
Proliférations d'algues toxiques	Intoxications alimentaires
Baisse de qualité des productions agricoles	Intoxications alimentaires
Rupture de chaîne du froid	Intoxications alimentaires
Augmentation de la pathogénécité des bactéries car augmentation de la température de l'eau	Augmentation nombre de cas et gravité
Proliférations des amibes	Baisse de qualité des eaux de baignades
Augmentation de l'utilisation de systèmes de climatisation	Augmentation des légionelloses
Augmentation du nombre de bactéries et virus dans l'eau de mer	Augmentation des gastro-entérites et septicémies
Amélioration de la qualité des eaux par ensoleillement	Baisse des gastro-entérites
Acidifications des océans	Changement dans les bactéries
Modification cycle de vie des vecteurs	Augmentation ou diminution de la transmission
Augmentation des eaux stagnantes par fonte neige	Augmentation des réservoirs d'insectes
Baisse de l'enneigement	Augmentation du nombre de rongeurs
Sécheresse	Modification des modes de vies des vecteurs
Tous types d'événements extrêmes	Destruction des bâtiments, moyen de communications
Température et ozone	Augmentation mortalité, morbidité
Augmentation humidité et température	Augmentation des moisissures
Vague de chaleur	Augmentation mortalité, morbidité
Inondations	Mortalité, morbidité, santé mentale
Tempêtes et cyclones	Mortalité, morbidité, santé mentale
Coulées de boues	Mortalité, morbidité, santé mentale

| Tableau 7 |

Méthodes utilisées pour la quantification des risques dans le rapport océanien [155]

Risque	Zone d'étude	Variables d'exposition	Méthode	Indicateur sanitaire estimé en 2020 et 2050 / 1999
Températures extrêmes	10 villes Australie 2 villes Nouvelle-Zélande	Températures journalières minimales et maximales	Risques relatifs augmentation de l'exposition	Mortalité attribuable aux températures extrêmes chez les plus de 65 ans
Inondations	Australie	Précipitations extrêmes mensuelles	Changement dans les précipitations	RR d'exposition aux précipitations extrêmes
Inondations (côtières)	Australie, Nouvelle-Zélande, Îles du Pacifique	Montée du niveau de la mer Topographie Digues	Modèle topographique	Population exposée
Paludisme	Australie	Température et précipitation hedbomadaire	Aire géographique favorable au vecteur	Population exposée
Dengue	Australie, Nouvelle-Zélande, Îles du Pacifique	Humidité annuelle	Aire géographique favorable au vecteur	Population exposée
Pollution atmosphérique et allergènes	Pas de quantification			
UV	Pas de quantification			
Autres maladies infectieuses	Pas de quantification			
Production agricole	Pas de quantification			

Annexe 2 – Actions prioritaires de santé publique listées dans l'avis du Haut conseil de la santé publique relatif aux risques pour la santé liés aux effets qualitatifs du changement climatique

Pour le court terme [156]

- Mettre en place ou renforcer la surveillance des facteurs sanitaires et environnementaux pouvant être modifiés par le changement climatique, afin de détecter les signaux faibles à une échelle spatiale cohérente avec les différentes facettes du changement climatique :
  - surveillance des populations vectorielles et d'hôtes réservoirs ;
  - surveillance de la qualité de l'air et des eaux continentales, côtières et estuariennes, et des sols ;
  - surveillance des rayonnements naturels ;
  - surveillance des résistances et des adaptations des agents pathogènes ;
  - surveillance des pneumallergènes ;
  - surveillance des événements sanitaires potentiellement en lien avec le changement climatique (maladies infectieuses, cancers cutanés, allergies…) en intégrant les données environnementales.

- Hiérarchiser sans retard l'importance relative des différentes conséquences attendues du changement climatique pour la santé, afin de maîtriser les échelles de temps nécessaires pour mettre en oeuvre les réponses.

- Mettre en place et généraliser des plans de réponse aux phénomènes météorologiques extrêmes (sur les modèles de plans existants : canicule, grand froid, ouragan…) incluant l'étude systématique des effets sanitaires (somatiques et psychologiques) de ces phénomènes :
  - évaluer les plans existants ;
  - organiser la prise en charge des populations fragiles et à risque de fragilité (personnes âgées, personnes atteintes d'affection de longue durée, personnes précaires…) face aux phénomènes climatiques extrêmes.

- Intégrer les risques sanitaires d'origine climatique aux formations initiales et continues des professions de santé, notamment les médecins généralistes.

- Intégrer les risques sanitaires d'origine climatique dans les messages et campagnes d'information à destination du public et des médias notamment à destination des adolescents.

- Participer à l'anticipation des phénomènes liés au changement climatique (permanents ou intermittents) ayant un impact sur la santé dans les documents d'urbanisme : inondations, impact de conception de l'habitat sur la qualité de l'air intérieur…

- Prendre en compte de façon spécifique les risques sanitaires particuliers des régions et départements d'outre-mer (comme par exemple la promotion de l'équipement des habitats contre les vecteurs…).

- Participer à la mise en place d'une politique de prévention adéquate, afin de ne pas creuser les inégalités d'accès à l'eau et à l'assainissement pour les populations les plus fragiles sur le plan social et économique. En ce sens, il est nécessaire d'encourager l'adaptation au niveau local, afin d'améliorer la robustesse des ressources dans des conditions climatiques extrêmes et d'adapter les ressources aux usages.

- Participer à la promotion d'une gestion de l'eau (en termes de débit et de qualité) en liaison étroite avec la gestion des sols.

- Être présent au niveau de la commission européenne pour une prise en compte du changement climatique, notamment dans le cadre de la directive-cadre sur l'eau, de la stratégie face à la rareté de l'eau et du programme communautaire de santé.

- Participer à l'anticipation des aspects d'érosion côtière et d'entrée saline en zones côtières, afin d'en limiter les conséquences sanitaires.

Pour le moyen terme [156]

- Surveiller l'impact sanitaire des modifications de la diversité biologique (flore et faune).

- Mettre en œuvre une observation des événements de mutation des agents infectieux et de leurs hôtes, notamment en lien avec les rayonnements naturels.

Annexe 3 – Principales caractéristiques des scénarios du Giec

Les scénarios d'émissions sont utilisés pour analyser les changements climatiques possibles, leurs impacts et les solutions pour les atténuer. Ils représentent les principales forces motrices, démographiques, économiques et technologiques, des émissions de gaz à effet de serre.

Quatre canevas narratifs différents ont été élaborés pour décrire de manière cohérente les relations entre les forces motrices des émissions et leur évolution et ajouter un contexte pour la quantification des scénarios. Chaque canevas représente une évolution différente au plan démographique, social, économique, technologique et environnemental, qui peut être envisagée positivement par certains, et négativement par d'autres (figure 14) :

- le canevas et la famille de scénarios A1 décrivent un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra un maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite, et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. Les principaux thèmes sous-jacents sont la convergence entre régions, le renforcement des capacités et des interactions culturelles et sociales accrues, avec une réduction substantielle des différences régionales dans le revenu par habitant. La famille de scénarios A1 se scinde en trois groupes qui décrivent des directions possibles de l'évolution technologique dans le système énergétique. Les trois groupes A1 se distinguent par leur accent technologique : forte intensité de combustibles fossiles (A1FI), sources d'énergie autres que fossiles (A1T) et équilibre entre les sources (A1B) ;

- le canevas et la famille de scénarios A2 décrivent un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres canevas ;

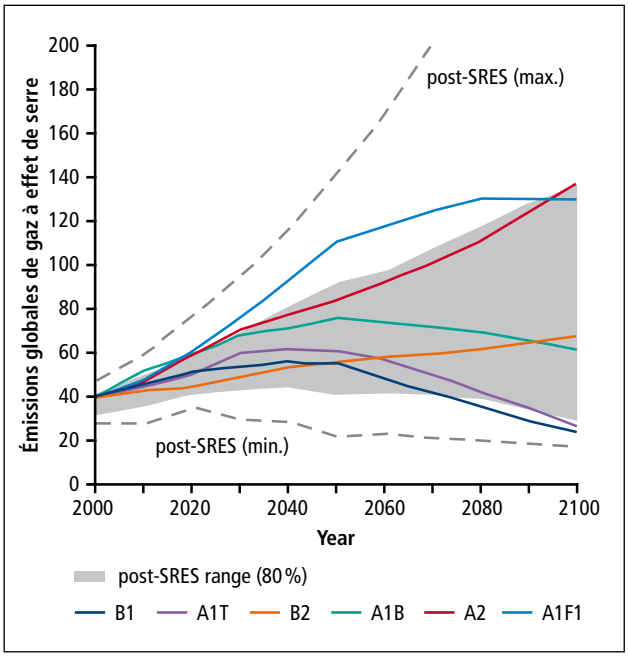
- le canevas et la famille de scénarios B1 décrivent un monde convergent avec la même population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant ensuite, comme dans le canevas A1, mais avec des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d'information, avec des réductions dans l'intensité des matériaux et l'introduction de technologies propres et utilisant les ressources de manière efficiente. L'accent est sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat ;

- le canevas et la famille de scénarios B2 décrivent un monde où l'accent est mis sur des solutions locales dans le sens de la viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale s'accroît de manière continue mais à un rythme plus faible que dans A2, il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverse que dans les canevas et les familles de scénarios B1 et A1. Les scénarios sont également orientés vers la protection de l'environnement et l'équité sociale, mais ils sont axés sur des niveaux locaux et régionaux.

Tout scénario comporte nécessairement des éléments subjectifs et prête à interprétation. Les préférences entre les scénarios présentés varient selon les utilisateurs [157].

| Figure 14 |

Scénarios d'émissions utilisés pour les prévisions climatiques dans les travaux du Giec



Source : Intergovernmental panel on climate change [157].
SRES : rapport spécial sur les scénarios d'émissions.

Annexe 4 – État de la littérature sur le changement climatique et la santé

Il faut distinguer l'effet sur la santé du climat, de la variabilité climatique et du changement climatique. En l'état actuel des connaissances, seuls les effets sanitaires du climat et de la variabilité climatique font l'objet d'études, par exemple : impact des températures extrêmes sur la mortalité, ou recherche des conditions climatiques favorables à la survenue d'épidémies de maladies infectieuses.

On observe depuis 2000 une augmentation du nombre d'articles sur le changement climatique et la santé. Il s'agit cependant le plus souvent d'articles de synthèse ou de positionnement pour appeler à une meilleure prise en compte de l'impact sanitaire du changement climatique. Les thématiques traitées restent majoritairement l'air, l'alimentation, les maladies infectieuses et l'eau (tableau 8). Très peu d'articles proposent des projections d'impacts sanitaires, et portent essentiellement sur les températures extrêmes, la pollution atmosphérique et les maladies infectieuses.

| Tableau 8 |

Nombre de publications référencées sous PubMed associées à changement climatique

Mots clefs	2009*	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
Changement climatique et santé	106	213	149	101	84	76	54	60	73	61
et air	23	37	35	18	15	15	3	13	16	9
et alimentation	21	27	20	9	11	7	1	5	9	1
et maladies infectieuses	15	30	11	9	10	11	6	9	8	6
et eau	14	25	16	12	12	12	12	5	10	5
et vague de chaleur	10	6	0	2	0	2	0	0	0	0
et événements extrêmes	4	9	4	4	2	3	0	0	3	1
et sols	3	1	2	3	1	2	1	0	2	0
et contaminants	3	2	3	3	1	0	0	2	0	0
et inondations	2	6	4	4	0	2	1	0	1	1
et habitat	2	7	5	1	2	1	1	2	3	3
et UV	2	1	4	1	1	3	4	0	1	1
Total	**756**	**1 290**	**1 050**	**808**	**632**	**511**	**454**	**410**	**388**	**316**

* *Jusqu'au 31/07/2009.*

Annexe 5 – État des lieux, épidémiologie et capacité des systèmes de surveillance des maladies infectieuses susceptibles d'être impactées par le changement climatique

| Tableau 5.1.a |

Pathologies véhiculées par des moustiques ou phlébotomes – État des lieux et épidémiologie

Germe *Vecteur principal en métropôle*	Incidence	Gravité (G) Létalité (L)	Risque d'émergence ou d'extension	Impact du changement climatique	Modalités de la surveillance humaine en 2008	Modalités de la surveillance animale en 2008
Chikungunya *Aedes albopictus*	Rare (cas importés)	G : +- L : -	Oui : vecteur présent dans le pourtour méditerranéen	Oui : extension habitat du vecteur	MDO : cliniciens, labos, CNR Surveillance renforcée mai-novembre Signalement des cas suspects (pourtour méditerranéen)	Surveillance du vecteur et de son extension dans le Sud de la France : EID[a]
Dengue *Aedes albopictus*	Rare (cas importés)	G : + L : + à ++	Oui : vecteur présent dans le pourtour méditerranéen et en expansion	Idem	Idem	Idem
Fièvre Jaune *A. aegypti ++* *A. albopictus +-*	Rare (cas importés)	G : ++ L : + à ++	Possible selon compétence *Aedes* (Pas d'*A. aegypti* en métropole)	Idem	MDO : cliniciens, CNR	Idem
Fièvre Rift Valley *Différents moustiques*	0 en 2008	G : +- L : + (≤10 %)	Oui : vecteurs potentiels présents dans le pourtour méditerranéen[b]	Idem	Pas de surveillance actuellement mise en place	Idem
Paludisme *Anopheles*	Rares cas autochtones (cas importés : nombreux)	G : + à ++ L : + à ++	Possible : vecteur présent bien que rare	Idem	Cas autochtones = MDO (surv. sentinelle pour cas importés)	Si cas autochtone : investigation entomologique + lutte antivectorielle ciblée
West Nile Principalement Culex spp, autres vecteurs	Rare	G : + L : +	Oui : vecteurs présents dans le pourtour méditerranéen[c]	Idem	MDO : cliniciens, CNR Signalement cas suspects (pourtour méditerranéen)	Surveillance du vecteur et de son extension dans le pourtour méditerranéen élargi : EID[a]
Leishmaniose viscérale à *L. infantum* *Phlébotome*	Rare	G : + L : ?	Oui : vecteur présent dans le pourtour méditerranéen	Idem	Signalement volontaire + CNR	Surveillance du vecteur et de son extension Sud France = EID[a] Surveillance réservoir canin (même zone)

MDO : maladies à déclaration obligatoire ; CNR : Centres nationaux de référence ; EID : Entente interdépartementale pour la démoustication.
[a] *Entente interdépartementale pour lutte antivectorielle ; surveillance l'*Aedes *dans le pourtour méditerranéen depuis 1998, intensifiée en 2006. Montre une extension progressive de la zone d'implantation d'*Aedes albopictus.
[b] *À noter que la transmission à l'homme par vecteur est très minoritaire. La transmission se fait plutôt par contact direct avce un animal contaminé.*
[c] *Les vecteurs sont plus largement répandus sur le territoire. Mais il faut plusieurs conditions pour l'introduction et la diffusion du virus : vecteur avec capacité suffisante, oiseaux.*

| Tableau 5.1.b |

Pathologies véhiculées par des moustiques ou phlébotomes – Capacités des systèmes de surveillance et améliorations envisagées

Germe ***Vecteur principal***	**Surveillance animale : capacités de détection et alerte ?**	**Surveillance humaine : capacités de détection et alerte ?**	**Améliorations envisagées ou préconisées, volet animal**	**Améliorations envisagées ou préconisées, volet humain**	**Sources du jugement**
Chikungunya *A. albopictus*	EID=activation saisonnière du plan national dans le pourtour méditerranéen	En lien avec présence vecteurs (*cf.* Plan national) Surveillance actuelle jugée satisfaisante	Renforcer EID - révision annuelle zones implantation - détection et alerte précoces - contrôle (lutte antivectorielle)	**Surveillance** : pas de modification du plan **Biologie** : prévoir extension des réseaux de laboratoire compétents Renforcer information/ prévention	Priorisation 2008
Dengue *Aedes albopictus*	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem
Fièvre jaune *A. aegypti (+albop)*	L'activation saisonnière du plan national Chik/dengue devrait identifier d'autres vecteurs *Aedes*	Idem Risque d'importation jugé faible	Améliorer la surveillance pour détecter acquisition de compétence des vecteurs présents Poursuivre/adapter lutte antivectorielle	**Surveillance** : pas de modification du plan Risque d'implantation/ diffusion en métropole jugé faible, compte tenu de la compétence des vecteurs	Idem
Fièvre Rift *Différents moustiques*	À réévaluer avec l'Afssa	DO des fièvres héorragiques africaines suffisante actuellement	Évaluer le risque implantation Afssa ?	Sensibilisation professionnels, cliniciens et voyageurs Améliorer les connaissances sur les modes de transmission à l'homme	Idem
Paludisme *Anopheles*	Surveillance entomologique Lutte antivectorielle autour des cas importés	Détection : labos, cliniciens, CNR	Vérifier modification de compétence des vecteurs	-	Idem
West Nile *Culex*	EID = activation saisonnière du plan national dans le pourtour méditerranéen DGAl : chevaux Sagir : oiseaux	En lien avec plan "vecteurs" ci-contre	Renforcer EID - révision annuelle des zones d'implantation - détection et alerte précoces - contrôle (lutte antivectorielle)	**Surveillance** : pas de modification du plan **Biologie** : prévoir extension des réseaux de laboratoire compétents Renforcer information/ prévention **Besoin de recherche sur le traitement**	Priorisation 2008 Plan national
Leishmaniose viscérale *L. infantum* *Phlébotome*	Surveillance effectuée (DDSV) : foyers reservoirs canins	Détection : labos, cliniciens, CNR Surveillance jugée satisfaisante en 2000	Afssa : "malgré risque élevé car vecteur présent, conséquences humaines négligeables car les foyers canins serviront d'alerte"	Sensibilisation des cliniciens au risque pour recherche diagnostique (maladie rare et traitement difficile)	Priorisation 2000 Afssa 2005

EID : Entente interdépartementale pour la démoustication ; Afssa : Agence française de sécurité sanitaire des aliments ; CNR : Centres nationaux de référence ; DGAl : Direction général de l'alimentation ; DDSV : Direction départementale des services vétérinaires.

| Tableau 5.2.a |

Pathologies véhiculées par des tiques ou des rongeurs – État des lieux et épidémiologie

Germe *Vecteur principal*	Incidence	Gravité (G) Létalité (L)	Risque d'émergence ou d'extension	Impact du chang. climatique	Modalités de la surveillance humaine en 2008	Modalités de la surveillance animale en 2008
CCHF *Tique*	Rare	G : ++ L : 10-40 %	Oui : vecteur rare mais présent dans le Sud de la France	Oui : extension habitat du vecteur	DO	Pas de surveillance spécifique
Borreliose de Lyme *Tique*	Fréquente	G : + (1/3 de cas sévères) L : +-	Présente en France Augmentation incidence possible en fonction augment. vecteur	Oui : extension habitat du vecteur et capacité vecteur	Surv. Sentinelles + CNR + études régionales Évolution surv. à prévoir ? Réseau de laboratoires en cours	Surveillance des tiques ?
Encephalite à tiques *Tique*	Rare	G : ++ L : + 0-1,4 %	Rare, mais augmentation incidence possible en fonction augmentation vecteur	Oui Mais réchauffement + augmentation d'humidité pourrait aboutir à une diminution d'incidence idem	CNR Réseau de laboratoires	Idem
Fièvre Q *Tique*	Fréquence moyenne à élevée[a]	G : + à ++	Oui	Idem	Idem	Idem
Leptospirose *Rat ou contact direct*	200-300 cas/an	G : + si facteurs de risque L : ?	Présente en France : cas sporadiques (professionnels) ou cas groupés (été)	Indirect : augment. rongeurs + exposition (baignades)	Sensibilisation cliniciens et professionnels Alerte *via* CNR	Sans objet
Hantavirus *Rongeur ou contact direct*	50 cas/an, quelques cas groupés	G : + L : -	Présente en France : cas sporadiques (professionnels) ou cas groupés (été)	Indirect : augment. rongeurs + exposition (promenades forêt)	Idem	Améliorer connaissances sur mode de vie/ comportement rongeurs

CCHF : Crimean-Congo haemorrhagic fever ; DO : déclaration obligatoire ; CNR : Centres nationaux de référence.
[a] *Quelques milliers de cas/an mais la part de ces infections transmises par des tiques est très faible. La voie de transmission est principalement aérogène.*

| Tableau 5.2.b |

Pathologies véhiculées par des tiques ou des rongeurs – Capacités des systèmes de surveillance et améliorations envisagées

Germe *Vecteur principal*	Surveillance animale : cap acités de détection et alerte	Surveillance humaine : capacités de détection et alerte?	Améliorations envisagées ou préconisées, volet animal	Améliorations envisagées ou préconisées, volet humain	Sources du jugement
CCHF *Tiques*	Risques professionnels (surv. infection c/o ruminants) à vérifier	DO fièvres hémorragiques, africaines suffisante Surveillance jugée satisfaisante en 2008	En cas d'implantation en métropole = Surveiller l'infection c/o ruminant, renforcer surveillance tiques (densité, infestation)	Sensibilisation des clinciens, voyageurs et professions exposées	Priorisation 2008
Borréliose de Lyme *Tiques*	Sans objet	Réseau sentinelle national, études régionales Améliorer les tests diagnostic	Mieux identifier les espèces de *Borrelia* et leur répartition selon les vecteurs	Informer et sensibiliser la population (promenades en forêt, etc.)	Idem
Encéphalite à tiques *Tiques*	?	Surveillance par CNR Compléter par signalement *via* hospitaliers	Écologie des vecteurs et reservoirs	Améliorer les capacités de diagnostic biologique Informer sur les modes de contamination Recherche sur modes de contamination et épidémiologie + place du vaccin	Idem
Fièvre Q *Tiques*	Le plan de maîtrise existe mais doit être évalué	Surveillance par CNR Besoin améliorer les outils de diagnostic biologique	Informer sur bonnes pratiques d'élevage Recherche sur survie des Coxielles dans l'environnement	Informer les populations à risque (femmes enceintes, valvulopathes) et sensibiliser leurs médecins	Idem
Leptospirose, *Rat ou contact direct*	?	Détection de cas groupés	Contrôle population des rongeurs	Informer et sensibiliser : risque professionnel et risque lié aux loisirs	Priorisation 2000
Hantavirus *Rongeur ou contact direct*	Élimination des rongeurs ?	Détection de cas groupés	Idem	Idem	Idem

DO : déclaration obligatoire ; CNR : Centres nationaux de référence.

| Tableau 5.3.a |

Infections entériques – État des lieux et épidémiologie

Germe	Incidence	Gravité (G) Létalité (L)	Risque d'émergence ou d'extension	Impact du changement climatique	Modalités de la surveillance humaine en 2008
Hépatites virales A, E		G : +- L : (≤10 %)	Oui	?	MDO et CNR
Norovirus	Fréquente	G : - L : -	Cas groupés fréquents ; facteur saisonnier (surtout en hiver) ?	Si réchauffement = diminution incidence	Surv. cas groupés (Tiac) Détection épidémies hivernales : Sentinelles/Oscour
Salmonelloses	Rare	G : ++ L : + à ++	Rare, mais augmentation incidence possible ; cas importés et autochtones	Ruptures de la chaîne de froid	CNR Réseau de laboratoires
Parasites (cryptosporidium, giardiases)	? non surveillé	G : + à ++	?	Ruptures de la chaîne de froid Augmentation baignades	
Vibrions	<10 cas/an	G : + si facteurs de risque	Cas sporadiques vibrions non cholériques en France ; cas importés de *V. cholerae* (rares)	Réchauffement eaux salines (estuaires) et risques de baignades	Sensibilisation cliniciens et professionnels si risque avéré

MDO : maladies à déclaration obligatoire ; CNR : Centres nationaux de référence ; Tiac : toxi-infections alimentaires collectives.

| Tableau 5.3.b |

Pathologies entériques – Capacités des systèmes de surveillance et améliorations envisagées

Germe Vecteur principal	Surveillance environnement : capacités de détection et alerte ?	Surveillance humaine : capacités de détection et alerte ?	Améliorations envisagées ou préconisées, volet environnement	Améliorations envisagées ou préconisées, volet humain
Hépatites virales A, E	Réservoir humain ou animal ; facteurs de risque Hép. E mal connus	MDO + CNR		Renforcement surveillance par le CNR
Norovirus	Sans objet réservoir humain	Réseau Sentinelles, Oscour et DO Tiac	Plan coquillages si besoin	Non
Salmonelloses	En élevage	CNR + DO Tiac		Non
Parasites (cryptosporidium, giardiases)		Signalement cas groupés de GEA		Améliorer le diagnostic ? (onéreux) ; rapport coût-bénéfice à discuter
Vibrions	Plan coquillages	CNR + DO Tiac		

MDO : maladies à déclaration obligatoire ; CNR : Centres nationaux de référence ; DO : déclaration obligatoire ; Tiac : toxi-infections alimentaires collectives ; GEA : gastro-entérites aiguës.

Annexe 6 – Glossaire

Adaptation
L'adaptation est le degré d'ajustement des systèmes naturels et humains à des changements climatiques afin d'atténuer les dommages potentiels, de tirer parti des opportunités ou de faire face aux conséquences [158]. L'adaptation passe par des mesures réglementaires, des modifications des lieux de vie et des comportements [159].

Atténuation
L'atténuation (mitigation en anglais) désigne une intervention humaine visant à réduire le forçage anthropique du système climatique. Elle comprend des stratégies visant à réduire les sources et les émissions de gaz à effet de serre et à renforcer l'efficacité des puits de gaz à effet de serre [158].

Climat
Le climat désigne généralement le "temps moyen" ; il s'agit plus précisément d'une description statistique du temps en termes de moyennes et de variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes de plusieurs décennies (trois décennies en principe, d'après la définition de l'Organisation météorologique mondiale – OMM). Ce sont le plus souvent des variables de surface – température, précipitations et vent, par exemple – mais au sens large, le "climat" est la description de l'état du système climatique [158].

Changements climatiques (selon le Giec)
Les changements climatiques désignent une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes (généralement, pendant des décennies ou plus). Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres [158].

Forçage radiatif
Mesure simple de l'importance d'un mécanisme pouvant conduire à un changement climatique. Le forçage radiatif est la perturbation du bilan énergétique du système terre-atmosphère (en W m-2) à la suite, par exemple, d'une modification de la concentration de CO_2 ou d'une variation du débit solaire. Le système climatique réagit au forçage radiatif de façon à rétablir l'équilibre énergétique. Un forçage radiatif positif a tendance à réchauffer la surface du globe tandis qu'un forçage radiatif négatif a tendance à la refroidir. Le forçage radiatif est généralement exprimé à l'aide d'une valeur annuelle moyennée à l'échelle du globe. [158]

Gaz à effet de serre
Gaz qui, pour certaines longueurs d'onde données du spectre énergétique, absorbe le rayonnement (rayonnement infrarouge) émis par la surface de la terre et par les nuages. L'effet net est la rétention locale d'une partie de l'énergie absorbée et une tendance au réchauffement de la surface de la Terre. La vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), l'hémioxyde d'azote (N_2O), le méthane (CH_4) et l'ozone (O_3) sont les principaux gaz à effet de serre qu'on trouve dans l'atmosphère terrestre [158].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec)
Il a été établi conjointement par l'OMM et le Programme des Nations unies pour l'environnement pour évaluer l'information scientifique, technique et socio-économique se rapportant à la compréhension du risque de changements climatiques induits par l'homme. Il a pour mission d'évaluer, sans parti pris et de façon méthodique, claire et objective, les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique qui nous sont nécessaires pour mieux comprendre les fondements scientifiques des risques liés au changement climatique d'origine humaine, cerner plus précisément les conséquences possibles de ce changement et envisager d'éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation. Il n'a pas pour mandat d'entreprendre des travaux de recherche ni de suivre l'évolution des variables climatologiques ou d'autres paramètres pertinents. Ses évaluations sont principalement fondées sur les publications scientifiques et techniques dont la valeur scientifique est largement reconnue.

Observatoire national des effets du réchauffement climatique (Onerc)
Il a été créé par la loi du 19 février 2001, pour collecter et diffuser les informations, études et recherches sur les risques liés au réchauffement climatique et aux phénomènes climatiques extrêmes. L'Onerc fournit également des recommandations sur les mesures de prévention et d'adaptation susceptibles de limiter les risques liés au changement climatique.

Résilience
La résilience est la capacité d'un système naturel ou humain d'absorber des perturbations tout en conservant sa structure de base et ses modes de fonctionnement, ainsi que sa capacité de s'organiser et de s'adapter au stress et au changement [158]. L'adaptation peut être vue comme un moteur de la résilience.

Surveillance en santé environnementale
Processus permanent et organisé de collecte des données pertinentes relatives aux expositions environnementales dont les effets sanitaires sont suspectés ou reconnus et/ou aux événements de santé reconnus ou suspectés d'origine environnementale et/ou aux caractéristiques des populations à risque et/ou aux données de susceptibilité ou de vulnérabilité individuelles ou collectives aux agents environnementaux et/ou aux interventions.

Surveillance syndromique
En l'absence de données étiologiques précises, les systèmes de surveillance syndromique utilisent un ensemble de données non consolidées (symptômes, motifs de recours aux urgences, diagnostics cliniques…) qui permettent le suivi en temps réel de groupes de syndromes. Ces données peuvent être rassemblées à partir de nombreuses sources en lien avec le recours au système de soins comme : les passages dans les services d'urgence, les admissions à l'hôpital, les appels au Service d'aide médicale urgente, les prises en charges par des ambulances privées ou encore des résultats d'analyses biologiques. D'autres sources de données peuvent être inclues, afin d'estimer le nombre de patients n'ayant pas recours au système de

soins : les ventes de médicaments hors prescription, les recours à des lignes téléphoniques spécialisées, le taux d'absentéisme... Cette surveillance nécessite l'enregistrement et l'analyse permanents (quotidien et proche du temps réel) des données. C'est pourquoi, les données sont, le plus souvent, directement extraites des systèmes médico-administratifs de gestion du système de soin.

Vulnérabilité

La vulnérabilité est le degré de capacité d'un système à faire face ou non aux effets néfastes du changement climatique (y compris la variabilité climatique et les extrêmes). Elle dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme de l'évolution climatique, des variations auxquelles le système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation [158]. La vulnérabilité est aggravée par la conjonction de facteurs environnementaux, sociaux, et économiques.

Impacts sanitaires du changement climatique en France

Quels enjeux pour l'InVS ?

Plusieurs risques sanitaires et évènements environnementaux susceptibles d'être exacerbés par le changement climatique sont classiquement identifiés : émergence ou réémergence de maladies infectieuses, augmentation en fréquence et en intensité des évènements extrêmes, modifications profondes de l'environnement. L'Institut de veille sanitaire s'est attaché à expliciter pour ces risques l'état des connaissances actuelles, à identifier les systèmes de surveillance et d'alerte existants, et leur besoin d'adaptation face au changement climatique.

Pour les risques considérés, des systèmes de surveillance en continu et d'alerte, ou des études *ad hoc* existent déjà. Ces systèmes doivent être renforcés, en assurant la qualité des données, leur accessibilité et une meilleure mise en relation et mise en cohérence des systèmes de surveillance environnementaux et sanitaires. Une meilleure compréhension des comportements exposants sera essentielle pour appréhender les impacts du changement climatique. La surveillance syndromique, complémentaire des systèmes de surveillance traditionnels, présente l'intérêt d'apporter des informations utiles pour la gestion de crise et de repérer des évènements inattendus.

Il apparaît également nécessaire de développer l'interdisciplinarité pour mettre en perspective les conséquences sanitaires des modifications environnementales, sociales et économiques. Ce besoin d'interdisciplinarité se traduit également dans les interactions avec la recherche.

Enfin, la prise en compte des impacts sanitaires actuels des politiques d'atténuation des émissions d'aérosols et de gaz à effet de serre est également un champ important pour la santé publique.

Mots clés : changement climatique, impact sanitaire, surveillance épidémiologique, santé environnementale, maladie infectieuse

Health impact of climate change in France

What are the challenges for the French Institute for Public Health Surveillance (InVS)?

Recognizing that climate change will impact human health, an interdisciplinary climate change working group has identified the main needs for adaptation of the Public Health sector, focusing on surveillance and alert. Risks considered included extreme weather events, infectious diseases, and long-term environmental changes. The flexibility and adaptability of existing surveillance and alert programmes covering these risks were assessed by the working group based on a literature review, expert consultations and analysis of past events in France. Both environmental monitoring systems and health end points surveillance systems were included in the review.

For most risks, surveillance of the environment and of the health effects is already available. Strengthening these systems is essential, and data quality, data availability and linkage of environmental and health databases are key steps in this process. A better understanding of the determinants of exposure would improve the understanding of climate risks. Syndromic surveillance could be fruitfully used to complement classical systems. A strong interaction with research is also required through the development of interdisciplinary partnerships relying on existing networks.

Finally, mitigation strategies have the potential to generate major health co-benefits. Decision-makers should have access to health impact assessments of the different available options. Surveillance should be used to monitor and evaluate the efficiency of these strategies.

Citation suggérée :
Pascal M. Impacts sanitaires du changement climatique en France – Quels enjeux pour l'InVS ? Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, mai 2010, 54 p. Disponible sur : www.invs.sante.fr

diadeis 01 40 37 95 00

INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE
12 rue du Val d'Osne
94 415 Saint-Maurice Cedex France
Tél. : 33 (0)1 41 79 67 00
Fax : 33 (0)1 41 79 67 67
www.invs.sante.fr

ISSN : 1 958-9719
ISBN-NET : 9 78-2-11-099251-2
Réalisé par Diadeis-Paris
Dépôt légal : mai 2010