



**HAL**  
open science

# Répercussions du changement climatique sur la santé en médecine humanitaire

Charlotte Buissart

► **To cite this version:**

Charlotte Buissart. Répercussions du changement climatique sur la santé en médecine humanitaire. Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-03658555

**HAL Id: dumas-03658555**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03658555>**

Submitted on 4 May 2022

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

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

#### IMPORTANT : OBLIGATIONS DE LA PERSONNE CONSULTANT CE DOCUMENT

Conformément au *Code de la propriété intellectuelle*, nous rappelons que le document est destiné à un **usage strictement personnel**. Les "analyses et les courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information" sont autorisées sous réserve de mentionner les noms de l'auteur et de la source (article L. 122-4 du *Code de la propriété intellectuelle*). Toute autre représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit, est illicite.

---

De ce fait, nous vous rappelons notamment que, **sauf accord explicite** de l'auteur de la thèse ou du mémoire, **vous n'êtes pas autorisé** à rediffuser ce document sous quelque forme que ce soit (impression papier, transfert par voie électronique, ou autre). Tout contrevenant s'expose aux peines prévues par la loi.

**NANTES UNIVERSITÉ**

-----

**FACULTÉ DE MÉDECINE**

-----

Année : 2022

N°

**THÈSE**

pour le

**DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE**

DES de Médecine d'urgence

par

Charlotte BUISSART

-----

Présentée et soutenue publiquement le 04/04/2022

-----

**RÉPERCUSSIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ EN MÉDECINE  
HUMANITAIRE**

-----

Président : Monsieur le Professeur Philippe LE CONTE

Directeur de thèse : Professeur Jean Pierre GANGNEUX

# Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement le Professeur Jean-Pierre GANGNEUX, mon directeur de thèse, pour son soutien et ses conseils durant la rédaction de cette thèse, mais également pour m'avoir permis de mieux appréhender la médecine humanitaire dans toutes ces spécificités.

J'adresse mes remerciements au Professeur Philippe LE CONTE pour m'avoir autorisé à réaliser cette thèse au-delà des frontières de la médecine d'urgence.

Je remercie également toutes les personnes, amis et famille, notamment ma mère, qui m'ont aidé à la rédaction de cette thèse, pour leurs conseils et les corrections apportées.

Enfin, je remercie toutes celles et ceux qui m'ont encouragé tout au long de ces années, ainsi que mes parents pour leur soutien moral et matériel. J'ai une pensée toute particulière pour mes grands-parents, pour tous ces longs dimanches après-midi et pour leur présence avant chaque examen. Mon seul regret, celui de ne pas avoir mon grand-père parmi nous à l'échéance de ce long parcours.

Sommaire	
Introduction.....	1
Chapitre 1 Malnutrition.....	2
1.1 Définition et situation actuelle.....	2
1.2 Evolution de la malnutrition.....	2
1.2.1 Agriculture et bétail.....	2
1.2.2 Pêche.....	4
Chapitre 2 Les maladies infectieuses.....	5
2.1 Généralités.....	5
2.2 Virus.....	7
2.3 Bactéries.....	9
2.4 Parasitoses.....	10
2.5 Infections fongiques.....	11
Chapitre 3 Pathologies cardiovasculaires et respiratoires.....	12
Chapitre 4 Autres impacts.....	15
4.1 Conséquences directes.....	15
4.1.1 Traumatisme physique et stress thermique.....	15
4.1.2 Impact psychologique.....	15
4.2 Conséquences indirectes.....	17
Conclusion.....	17
ANNEXE : Répercussions sur l'environnement du changement climatique et conséquences sur l'Homme et ses activités.....	19
Index des figures.....	43
Index des tableaux.....	43
Bibliographie.....	44
Résumé.....	52

# Introduction

Le changement climatique est considéré par beaucoup comme étant le défi de ce XXI<sup>ème</sup> siècle. Il s'agit d'un enjeu d'actualité ayant des répercussions déjà observables de nos jours et s'exprimant à l'échelle internationale. Les publications et groupes de travail sont nombreux sur le sujet. Néanmoins, il existe une grande incertitude entourant les prédictions relatives à cet enjeu s'expliquant en partie par la diversité des domaines impactés, dont fait partie la santé des populations, et leurs interactions mutuelles.

Une autre inconnue qui explique la difficulté à réaliser des prédictions précises est le degré du réchauffement climatique qui est étroitement lié aux activités humaines. Selon l'évolution de notre système socio-économique, le changement climatique sera plus ou moins important, se répercutant ainsi sur les différents écosystèmes de manière plus ou moins marquée. C'est ainsi que, dans de nombreux articles et rapports traitant le sujet, sont incluses des méthodes de prédictions futures dont les résultats obtenus sont exprimés en terme de probabilité et en niveau de confiance. Nous serons amenés à les utiliser par la suite. Les prédictions futures sont ainsi évaluées selon :

- L'évolution de notre système socio-économique : SSP1 à SSP5 (*SSP pour Shared Socioeconomic Pathways*) avec SSP1 comme système avec une forte coopération internationale donnant la priorité au développement durable et SSP3 étant un système peu soucieux de l'environnement ; SSP 4 et 5 sont des situations particulières. Nous sommes actuellement dans le scénario SSP2 considéré comme une situation intermédiaire.
- Les RCP (*pour Representative Concentration Pathways*), scénarios caractérisés par différentes trajectoires d'évolution des émissions des gaz à effet de serre d'ici 2100 avec répercussion sur le réchauffement climatique. Le RCP 8.5 (+2,6 à +4,8°C) étant le scénario le plus pessimiste mais également le plus tendanciel, et le RCP 2.6 (+0,3 à +1,7°C) le plus optimiste.

Actuellement, de nombreuses études ont démontré les effets délétères du changement climatique sur la santé humaine, notamment dans les pays du sud, premiers pays impactés par le dérèglement du climat. Les effets négatifs sont vastes et non négligeables et continueront à s'accroître d'ici la fin du siècle comme nous le verrons dans cette thèse, après une revue exhaustive de la littérature. L'objectif est d'établir un tableau global d'une nouvelle problématique de santé publique qui impactera de manière plus ou moins marquée le monde de la santé, notamment la médecine humanitaire, première sur le terrain à être confrontée à ces changements.

Nous étudierons ainsi dans les différentes parties, les multiples impacts du réchauffement climatique sur la santé, commençant par les répercussions nutritionnelles puis infectieuses. Dans une troisième partie, nous étudierons les impacts sur le système cardio-pulmonaire et dans une dernière partie nous verrons effets sur la santé, direct ou indirect, physique ou mental.

# Chapitre 1 Malnutrition

## 1.1 Définition et situation actuelle

Selon le Larousse, la sécurité alimentaire a été définie au Sommet mondial de l'Alimentation en 1996 ainsi: « La sécurité alimentaire existe lorsque tous les être humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive, leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active. Lorsque l'une des quatre dimensions manque, l'insécurité alimentaire transitoire ou chronique s'installe pour la population considérée. » (1) L'OMS décrit la malnutrition comme les carences, les excès ou les déséquilibres dans l'apport énergétique et/ou nutritionnel d'une personne. (2)

Actuellement, à l'échelle mondiale, c'est près de 2 milliards de personnes qui sont dans un état d'insécurité alimentaire modéré ou grave. Faute de pouvoir se procurer régulièrement des aliments nutritifs en quantité suffisante, ces personnes sont davantage exposées à la malnutrition et leur santé est mise en péril. Aujourd'hui, il est estimé à 820 millions le nombre de personnes souffrant de la faim dans le monde et ce, malgré l'objectif Faim Zéro de l'ONU pour 2030. Les populations les plus touchées sont les pays à revenu faible et intermédiaire et la prévalence est légèrement plus élevée chez les femmes que chez les hommes. (3)

## 1.2 Evolution de la malnutrition

### 1.2.1 Agriculture et bétail

Selon un nouveau rapport publié par la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), le changement climatique est l'une des principales causes de la faim dans le monde suite aux phénomènes météorologiques extrêmes, à la dégradation des terres et à la désertification, à la rareté de l'eau, à l'élévation du niveau de la mer, à l'apparition de certaines maladies, à l'extinction des espèces,... (4)

La baisse des cultures, mais aussi la diminution de la variété et de la qualité des aliments conduiraient à des problèmes de dénutrition. L'activité physique moindre des populations, la hausse des températures et la hausse des prix des denrées de bonne qualité (conséquence de la diminution des cultures) favoriseraient l'obésité selon les experts de la Global Health Alliance Australia.

Tous les pays du monde sont concernés par la malnutrition. Environ 1,9 milliard d'adultes dans le monde est en surpoids et 41 millions d'enfants âgés de moins de 5 ans sont obèses ou en surpoids. *A contrario*, on estime à 462 millions d'adultes présentant une insuffisance pondérale, 159 millions d'enfants souffrant d'un retard de croissance et 50 millions à être émaciés. Par ailleurs, 528 millions (soit 29%) des femmes en âge de procréer dans le monde sont anémiées, et la moitié d'entre elles environ aurait besoin d'une supplémentation en fer. (2) La prévalence et le nombre de

personnes sous-alimentées ont tendance à être plus élevés dans les pays fortement exposés aux extrêmes climatiques et ceux d'autant plus lorsqu'une forte proportion de la population dépend de systèmes agricoles et pastoraux très sensibles aux précipitations et à la variabilité des températures. (4,5)

D'ici 2050, il est estimé probable une diminution en moyenne de 3,2 % de la quantité de nourriture disponible par personne, soit une réduction de 99 kcal par personne par jour, de 4 % de la consommation de fruits et légumes, et de 0,7 % de la consommation de viande rouge. La réduction de la quantité de nourriture disponible serait plus fortement marquée dans les pays à bas revenu de l'Afrique, (-122 kcal par jour et par personne), dans le sud de l'Asie (-166 kcal) et dans les régions du Pacifique Ouest (-111 kcal) avec pour conséquence d'avoir, selon les scénarios SSP1, 2 et 3, d'ici 2050, un risque respectivement de 8, 24 et 80 millions de personnes supplémentaires à risque de dénutrition. (6,7) Un nombre de décès supplémentaires qui s'élèverait à 264 000 dans le Pacifique Ouest, et à 164 000 dans le sud de l'Asie, ainsi qu'une majoration de la morbidité telle que l'asthénie, les défauts de mémoire et de concentration, l'ostéoporose, les déficits immunitaires... Néanmoins, le nombre de décès suite à la dénutrition sera possiblement contrebalancé, de manière partielle, par une diminution du nombre de décès dans certaines populations où l'on pourrait observer une baisse du surpoids, de l'obésité et de leurs complications. (6)

D'après un article récemment publié dans la revue *The Lancet*, dans les 30 années à venir, le changement climatique et l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique pourraient réduire la disponibilité de nutriments essentiels à notre alimentation : les protéines, le fer et le zinc. D'après les auteurs, 10 à 15 % de la population seraient à risque d'insuffisance en fer, 17 % en zinc et 12 % en protéines. Actuellement, 76 % de la population mondiale tirent la majeure partie de ses protéines de sources végétales comme les céréales ; la perte de protéines dans ces dernières pourrait ainsi conduire à des déficits protéiques chez des millions de personnes dans le monde. (6,8) Concernant le zinc, il est estimé à 138 millions le nombre total de personnes exposées à un nouveau risque de carence en zinc d'ici 2050. Les personnes susceptibles d'être les plus touchées vivent en Afrique et Asie du Sud, dont près de 48 millions résident en Inde. (7)

De même, la diminution en fer dans les récoltes conduirait à des carences en fer et donc à des anémies, pouvant toucher jusqu'à 1,4 milliard d'enfants de 1 à 5 ans et de femmes en âge de procréer. Ces carences en fer sont responsables, chez la femme enceinte, d'une augmentation de la morbi-mortalité comme une mauvaise tolérance à l'hémorragie de la délivrance, une augmentation du risque d'accouchement prématuré et des petits poids de naissance et ce, particulièrement dans les pays d'Asie du Sud-Est et d'Afrique du Nord et dans les populations consommant un régime essentiellement végétarien. Chez les enfants, l'anémie peut engendrer un retard de croissance et un retard des acquisitions. (9)

Les pays déjà affectés par des problèmes d'accessibilité aux nutriments pourraient être les plus touchés. Il est estimé que les pays du sud de l'Asie, du Moyen-Orient, du sud du Sahara, de l'Afrique du nord et de l'ancienne Union Soviétique subiront les réductions en nutriments les plus sévères d'autant plus que ces habitants de pays à revenu faible ou intermédiaire reçoivent la

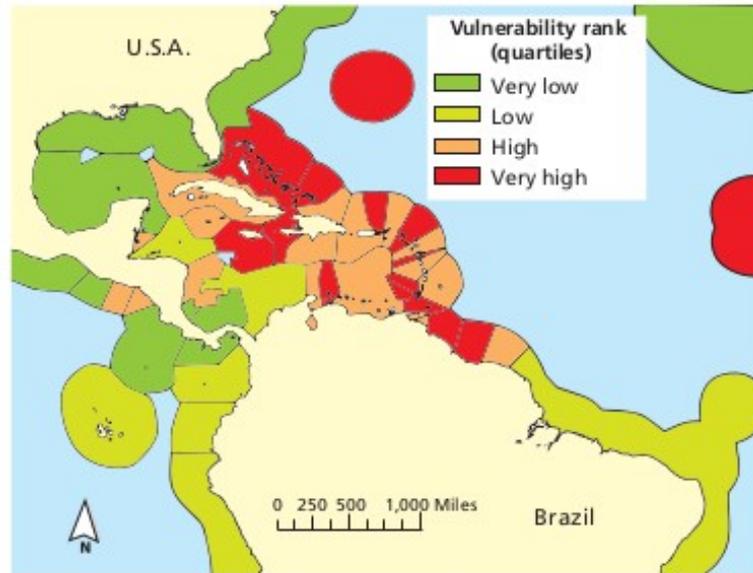
majeure partie de leurs nutriments depuis les sources végétales qui ont tendance à avoir une biodisponibilité inférieure à celles d'origine animale. (6) En parallèle, le bétail pourrait être également moins productif à cause des températures élevées et l'apparition ou l'amplification de certaines maladies, comme la fièvre catarrhale ovine, accentuant le risque de dénutrition. (8)

Enfin, l'ONF (Office National des Forêts) estime que l'ozone, à des concentrations élevées, a un effet néfaste sur la végétation par son effet oxydant avec une diminution de la croissance et un affaiblissement des plantes. Cela les rend plus sensibles aux attaques parasitaires (insectes, champignons) et aux aléas climatiques tels que les sécheresses, avec un possible impact sur les récoltes et les conséquences qui en découlent. (10) Il est également prévu une possible baisse de 40 à 60% de l'activité photosynthétique des plantes amenant à une baisse du régime agricole. Une augmentation de 4 à 5 ppb d'ozone pour le scénario RCP8.5 conduirait à une augmentation du risque d'impact sur la végétation à 70 % contre une diminution du risque à 61 % dans le scénario RCP 2.6 par diminution de l'ozone de 2 à 10 ppb. (11)

### **1.2.2 Pêche**

Différents modèles de prédiction envisagent que le potentiel de capture maximal dans les zones économiques exclusives (ZEE) du monde devrait baisser entre 2,8 et 5,3% d'ici 2050, par rapport à l'an 2000, pour le RCP2.6 et entre 7 et 12,1 % pour le RCP8.5. Pour 2100, cette baisse devrait se poursuivre pour atteindre une diminution comprise entre 16,2 et 25,2 % pour le RCP8.5 et devrait se stabiliser pour le RCP2.6. Ces diminutions, à l'exception de celle de 2100 dans le scénario RCP8.5, peuvent paraître peu significatives à l'échelle globale, et bien que certaines régions verront même leur potentiel de capture augmenter, d'autres seront grandement touchées, impactant fortement les populations locales. Les baisses les plus importantes sont attendues dans les ZEE des pays tropicaux et principalement dans les régions du Pacifique Sud. (12)

Parmi les nombreuses régions impactées, en plus d'un impact du réchauffement climatique déjà visible à travers le blanchissement des coraux, on retrouve au niveau de l'Atlantique Centre-Ouest (Fig. 10 (12)) l'augmentation de la fréquence des tempêtes de forte intensité et des ouragans, l'élévation du niveau de la mer et l'afflux de sargasses, ce qui entraîne un déclin démographique des espèces pêchées et perturbe la pêche. De plus petites captures, avec la réduction de la productivité régionale dans le secteur de la pêche, pourraient avoir des conséquences importantes sur la sécurité alimentaire des populations de ces régions. Il est également attendu une augmentation de la prolifération d'algues toxiques, de diverses maladies des mollusques et de cas de ciguatera chez l'Homme. (12)



*Figure 1: Évaluation de la vulnérabilité du secteur de la pêche au changement climatique pour le centre-ouest de l'Atlantique sur la base de 35 indicateurs. Chaque pays est délimité par sa limite de ZEE. Les couleurs représentent une vulnérabilité relative. Source : Impacts of climate change on fisheries and aquaculture (FAO, 2018). Holsman K et al. (12)*

## Chapitre 2 Les maladies infectieuses

### 2.1 Généralités

Un large éventail de micro-organismes, allant des champignons aux bactéries en passant par les virus, les viroïdes et les oomycètes, peuvent provoquer des maladies. Ces dernières peuvent avoir de graves conséquences pour l'espèce humaine avec des maladies qui peuvent aussi bien toucher les plantes et les productions agricoles, comme l'oomycète *Phytophthora* qui a provoqué la famine irlandaise de la pomme de terre, que le bétail, avec la fièvre catarrhale ovine, ou l'homme. (13)

Ainsi, le concept One Health prend tout son sens ici, prônant l'idée d'une inter-connection et d'une inter-dépendance de la santé animale, humaine et des écosystèmes .

Les agents pathogènes transmis par les vecteurs, l'alimentation, l'air, l'eau et d'autres agents environnementaux peuvent être particulièrement sensibles aux effets du changement climatique et amener ainsi à l'émergence ou à la réémergence d'un certain nombre de maladies, notamment les maladies tropicales négligées selon l'OMS. (13)

Comme le montre le tableau ci-dessous (Tableau 1) ; l'augmentation des températures ainsi que des fortes précipitations sont globalement bénéfiques pour les vecteurs de maladies et les pathogènes contrairement aux phénomènes climatiques extrêmes, en prolongeant par exemple la saison de transmission, en augmentant le taux de réplication des agents pathogènes dans le vecteur et en augmentant le nombre et l'aire de répartition géographique des moustiques. (14)

		Conditions climatiques		Événements extrêmes	
		Températures (↑/↓)	Précipitations prolongées (↑/↓)*	Sécheresse	Inondation
V e c t e u r	<b>Développement</b> <sup>1,2,3</sup> ↑ : développement et fécondation des larves et des œufs ; longévité et fertilité des adultes ↓ rigidité larvaire (survie au fil des mois)	<b>Lieu de reproduction</b> <sup>1,8,9</sup> ↑ : habitats des larves (accumulation d'eau)	<b>Abondance</b> <sup>5,8</sup> ↑ : portée du vecteur augmentée en raison d'habitat de reproduction alternatif (stockage d'eau dans conteneurs, piscine, masses d'eau stagnante)	<b>Abondance</b> <sup>1,9</sup> ↑ : développement inhibé (destruction des œuf, larves et adultes), diminution de la population et de l'habitat des vecteurs	
	<b>Abondance</b> <sup>4</sup> ↑ : augmentation de population vectorielle et de la distribution géographique ↑/↓ changement de saisonnalité	<b>Abondance</b> <sup>5,9,10</sup> ↑ : augmente population vectorielle et la distribution géographique / nouvelles zones ↓ : habitats alternatifs et lieux de fécondation en zone urbanisée			
	<b>Comportement</b> <sup>1,5</sup> ↑ : augmente taux de morsure et le contact avec l'hôte ↓ refus de se nourrir	<b>Comportement</b> <sup>9</sup> ↓ : augmentation du contact hôte-vecteur (recherche sites reproducteurs artificiels : piscine, réservoirs d'eau, pot de plantes, ...)	<b>Survie/ comportement</b> <sup>4,5</sup> ↑ : réduction de la durée de vie des vecteurs et diminution de l'activité des insectes	<b>Lieu de reproduction</b> <sup>5</sup> ↑ : destruction de l'habitat des larves	
	<b>Survie</b> <sup>6</sup> ↑/↓ : du cycle de vie, variables selon les espèces				
P a t h o g è n e	<b>Développement</b> <sup>3,7,8</sup> ↑ : augmente taux de réplication	<b>Prévalence</b> <sup>5,9,10</sup> ↑ : propagation augmentée suite à l'accélération du développement et de la distribution du vecteur	<b>Contagiosité</b> <sup>4</sup> ↓ : augmentation de la vulnérabilité des population hôtes après une période sèche en raison d'une diminution de la prévalence du virus et donc d'une diminution des défenses immunitaires pendant la sécheresse	<b>Prévalence</b> <sup>1,9</sup> ↑ : circulation diminuée (diminution de la population de vecteurs)	
	<b>Contagiosité</b> <sup>1,3</sup> ↑ : augmente période d'incubation extrinsèque – le vecteur est contagieux plus tôt				
	<b>Saisonnalité</b> <sup>5</sup> ↑ : pic durant la saison chaude	* le type et la forme des chutes de pluie peuvent avoir un impact divers			

Tableau 1: **Conditions climatiques et leurs impacts sur le vecteur (*Aedes spp*) et les agents pathogènes (arbovirus) présents au Brésil.** Source : Informations établies de la littérature 1 : Parham et al(2015); 2 : Wu et al (2016); 3 : Honorio et al. (2007); 4 : Confalonieri et al. (2007); 5 : Hales et al. (1999); 6 : Reeves et al. (1994); 7 : Nazareth et al. (2016); 8 : Paz and Semenza (2016); 9 : Gubler et al (2001); 10 : Mills et al. (2010)

La variabilité climatique, causée par certains phénomènes climatiques à grande échelle tels que ENSO (El Niño – Southern Oscillation) qui perturbe les régimes de précipitations normales et

modifie les températures dans environ les deux tiers du globe, influence ainsi de nombreuses maladies infectieuses. Des associations avec ce dernier ont été signalées pour le paludisme, la dengue, la maladie à virus Zika, le choléra, la peste, la peste équine et de nombreuses autres maladies humaines et animales. (13)

De même, assez connue et crainte du grand public, la fonte du permafrost présente le risque de ré-émergence de pathogènes piégés dans les glaces, notamment certains extrêmement résistants et virulents pour l'Homme. En 2016, 72 personnes ont été hospitalisées et un enfant est décédé en Sibérie suite à une infection à *Bacillus anthracis* responsable de la maladie du charbon. L'origine a été attribuée à une carcasse de renne infecté il y a plus de 70 ans, libérée des glaces suite à leur fonte, en raison d'un été particulièrement chaud. (15) Le sujet a fait l'objet de publications concernant les bactéries et les virus que nous détaillerons ultérieurement.

## 2.2 Virus

*Aedes aegypti*, principal vecteur des virus de la dengue, du Zika, du chikungunya et de la fièvre jaune, est actuellement limité aux régions tropicales et subtropicales car il ne peut pas survivre aux hivers froids. Avec le réchauffement du climat, il a déjà été observé une extension de sa répartition géographique. Pour le virus Zika, comme pour la dengue, on constate que les épidémies ont également tendance à suivre le phénomène El Niño en Amérique latine et que l'année 2015 a été, depuis 1950, la plus importante en Amérique du Sud en terme d'infections par le virus Zika en raison des températures chaudes, des pluies importantes puis des sécheresses importantes, amenant ainsi à des conditions favorables au développement des moustiques. (16)

Il est estimé selon certaines études que d'ici 2050, 2,4 milliards d'individus pourraient être exposés au moustique-tigre avec une évolution importante dans son aire de répartition. Certaines zones lui seraient extrêmement propices, comme la France, l'Irlande, le sud de la Grande-Bretagne, le nord-ouest de la péninsule Ibérique, l'est des États-Unis et de la Chine, contrairement à d'autres régions comme l'extrême-sud de l'Europe, l'Afrique centrale, Madagascar, l'Asie du sud ou le nord de l'Amérique du Sud. Ces variations de répartition s'expliquent par le fait que le bon développement des moustiques nécessite des conditions de hautes températures et d'humidité. Un climat trop chaud et trop sec entraînera la mort de ces derniers. (17) Certaines études de laboratoires montrent que les *A. aegypti* tendent à mourir lorsque la température atmosphérique dépasse les 40°C. Ainsi, il est supposé que le nombre de vecteur et donc de maladies virales diminuent dans certaines régions du globe où les températures deviennent trop élevées pour leur survie. (18)

Ces modifications chez les vecteurs accroissent le risque de transmission des maladies à l'Homme. Par exemple, il est estimé que le risque de transmission du chikungunya passerait à plus de cinq mois par an dans certaines régions d'ici 2050 alors qu'il est au maximum de trois mois actuellement. (19) Cette majoration du temps de transmission devrait également s'observer avec la

dengue, en plus de l'augmentation de son aire de répartition selon l'ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control). (20)

Ainsi, on considère que des millions de personnes à travers le monde devraient être nouvellement exposées à ces maladies infectieuses à transmission vectorielle suite au changement climatique qu'il s'agisse d'arbovirose, de virus responsable de fièvre hémorragique ou d'encéphalite, ...

Il est également évoqué une possible répercussion sur des infections virales non transmises par des vecteurs comme la grippe. En effet, une étude américaine a recensé un début plus précoce et des gripes plus sévères lorsque l'hiver précédent s'était avéré plus chaud. Cela s'expliquerait par une fraction plus grande d'individus non immunisés dans la population car les épidémies de gripes seraient moins importantes lors d'hivers chauds, le virus *Influenza* se transmettant davantage dans un environnement froid et peu humide. En cas de réchauffement climatique continu, des hivers chauds pourraient survenir plus fréquemment et engendrer ainsi des épidémies plus précoces et plus graves. (21)

Un deuxième paramètre est également évoqué : ce sont les fluctuations extrêmes du temps automnal. Il a été mis en évidence que la propagation de l'épidémie de grippe est étroitement liée à la variabilité météorologique rapide qui rendrait le système immunitaire humain défaillant en hiver suite aux conditions météorologiques changeantes en automne. L'être humain serait ainsi plus sensible au virus de la grippe. Il est possible que les changements météorologiques rapides, associés au changement climatique, augmentent le risque d'épidémies de grippe dans les zones densément peuplées. L'Europe, par exemple, pourrait voir une augmentation de 50% des décès liés à la grippe, selon certains chercheurs. (22)

De plus, des études ont montré que d'autres maladies virales saisonnières, telles que l'adénovirus et l'entérovirus, étaient également impactées par le changement climatique notamment par des phénomènes climatiques comme l'ENSO et le NAO (Oscillation du Nord Atlantique). (23)

Enfin, l'hypothèse de la possibilité de virus transmissibles à l'homme piégés dans le permafrost inquiète certains scientifiques : en 2014, un « virus géant » vivant datant de 30.000 ans a été retrouvé dans des prélèvements réalisés en Sibérie. (15,24) De plus, à travers différentes études, des fragments d'ADN et d'ARN de virus ont été retrouvés dans les glaces tel que des fragments de la variole, de la peste bubonique et de la grippe espagnole. Les populations n'étant plus protégées contre la variole suite à l'arrêt des programmes de vaccination, il est craint par certains chercheurs la possibilité de la ré-émergence de cette maladie à cause d'une contamination par la fonte du permafrost. Néanmoins, il est à noter qu'à ce jour, aucun virus transmissible à l'homme n'a été retrouvé viable et qu'aucune contamination virale suite à la fonte du permafrost n'a été recensée. La probabilité d'un tel scénario apparaît comme faible en raison de la nécessité de nombreux facteurs pour commencer une chaîne épidémique. (15)

## 2.3 Bactéries

Le monde des bactéries sera également touché par le réchauffement climatique, notamment les entérobactéries transmises par l'eau et l'alimentation telles que les *Vibrio*, *Escherichia Coli*, les légionelles, shigelles et salmonelles, ...

Dans ce contexte, l'incidence de ces maladies devrait augmenter. Les grandes flambées de maladies d'origine hydrique sont particulièrement liées à des précipitations extrêmes dont la fréquence devrait croître au cours des prochaines décennies. L'association entre des températures plus chaudes et un taux augmenté de maladies d'origine hydrique et alimentaire a également été démontré comme pour les *Campylobacter* et les salmonelles. (13)

Un exemple de ces phénomènes est le *V. cholerae* dont les principaux réservoirs sont l'être humain et les milieux aquatiques, de préférence les eaux saumâtres et chaudes comme les estuaires et certaines zones côtières. Selon des études récentes, le réchauffement climatique crée un environnement favorable au bacille responsable du choléra. En effet, sa propagation vers les pôles est corrélée à l'augmentation de la température mondiale et à la salinité plus faible des milieux aquatiques dans les régions côtières lors de précipitations plus importantes, ce qui favorise sa croissance dans l'environnement. L'augmentation des températures de la surface de la mer est également reliée à la majoration des infections à *Vibrio cholerae* au Bangladesh. (13,25)

D'autres type de bactéries voient également leur incidence se majorer, dont certaines transmises par des vecteurs telles que les rickettsies, ou encore *Borrelia burgdorferi* responsable de la maladie de Lyme transmise par les tiques. En effet, le réchauffement climatique et la modification des régimes de précipitations saisonnières va permettre dans certaines régions l'expansion de la zone de distribution des tiques. (13,26)

Plusieurs études ont montré que les bactéries étaient également impactées par l'ENSO et le NAO telles que *Francisella tularensis* et les salmonelles. (23)

Enfin, il est également évoqué une augmentation de l'antibiorésistance par l'accroissement des températures pour certaines bactéries. Une étude publiée en 2018 souligne qu'une augmentation de la température minimale quotidienne de 10°C entraînera une majoration des taux de résistance aux antibiotiques d'*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* et *Staphylococcus aureus* de 2 à 4% et jusqu'à 10% pour certains antibiotiques. Cela s'expliquerait par une facilitation du transfert horizontal des gènes de résistance, par une augmentation du taux de croissance des pathogènes favorisant leur persistance dans l'environnement ainsi que par le transport et la transmission du matériel génétique. (13,27)

Enfin, comme décrit précédemment, des infections d'origine bactérienne suite à la fonte du permafrost sont possibles. En 2005, des bactéries bien plus anciennes, mais non viables, ont également été retrouvées en Alaska par la NASA qui a réanimé des bactéries datant de – 32 000 ans ou encore en 2007, avec la découverte de bactéries datant de 8 millions d'années. (15,28) Il est difficile de prédire le danger réel que représente ces bactéries congelées dans le permafrost mais il semble néanmoins réel à la vue de l'épisode sibérien de 2016 (cf 2.2.1).

## 2.4 Parasitoses

Les parasitoses ne sont pas en reste. Impactées par le changement climatique, des modifications de leur répartition géographique et de l'incidence des zones déjà concernées sont attendues. (29)

Le paludisme, par exemple, est une maladie vectorielle connue pour être hautement sensible aux variations climatiques. Les variations attendues devraient prolonger la saison de transmission, augmenter le taux de réplication du parasite dans l'anophèle et accroître le nombre et la portée géographique des moustiques vecteurs. Les anophèles prolifèrent en ambiance chaude et humide. La durée d'incubation extrinsèque dépend de l'espèce et de la souche de l'hématozoaire, du moustique ainsi que des conditions thermiques et de l'humidité ambiante qui commande la longévité de l'anophèle, laquelle doit être suffisamment prolongée pour qu'il devienne infectant. (29)

Les principaux facteurs identifiés du changement climatique sont l'augmentation des températures moyennes, des précipitations, les effets d'El Niño, les inondations et cyclones. (29,30) Le réchauffement pourrait augmenter le niveau de transmission du paludisme et permettre cette dernière dans des régions où elle n'était pas transmise, notamment en altitude où la température était autrefois trop basse de même qu'au nord et au sud des régions actuellement touchées. (29) Ainsi, en 1990, 45% de la population mondiale vivaient dans une zone à risque de paludisme. Ce chiffre pourrait augmenter selon certaines hypothèses jusqu'à 60% d'ici 2100. Les impacts les plus importants sont retrouvés sous le scénario RCP8.5. Il est en revanche plus compliqué d'établir des prédictions pour de plus faible réchauffement et à court terme.

Les effets les plus importants se limiteraient à certaines régions comme les terres des hautes altitudes en Afrique, dans certaines parties de l'Amérique du Sud et du sud-est de l'Asie. D'autres régions du globe devraient néanmoins ne pas subir de répercussions, voire des répercussions moindres malgré l'augmentation globale du risque et de la distribution géographique. (29,31) Cette diminution du risque dans certaines régions s'expliquent par le même mécanisme décrit précédemment concernant *A. aegypti* et la transmission des virus. Une étude de J. Almendares montre que la hausse des températures dans le sud du Honduras est responsable d'une diminution de la population des moustiques Anophèle en raison d'une région devenue trop chaude. Cela s'est traduit par une diminutions des cas de malaria. (18,32)

Les moustiques ne sont pas les seuls vecteurs à être influencés par le changement climatique. Les puces, les punaises, les phlébotomes et les glossines,... sont également impactés et responsables de l'introduction de maladies infectieuses dans de nouveaux sites. La trypanosomiase africaine (maladie du sommeil) par exemple - maladie protozoaire transmise par les glossines et causée par *Trypanosoma brucei gambiense* et *T. brucei rhodesiense* – devrait toucher, selon certaines prédictions, près de 30 000 personnes et 70 millions de personnes seront à risque au cours de ce siècle en raison d'une expansion du vecteur. (28)

Enfin, d'autres parasitoses risquent d'être potentiellement impactées de manière plus ou moins importante, telles que les leishmanioses, la giardiose, la cryptosporidiose, les schistosomes...

(33) La giardiose et la cryptosporidiose sont dues à des parasites digestifs transmis essentiellement par l'eau et l'alimentation. Une association positive a été retrouvée entre ces parasites et les précipitations. Pour la giardiose, il faut aussi noter un lien avec la température. (34) Le changement climatique représente donc une menace majeure pour l'accès à l'eau potable. Les précipitations seront plus variables, risquant d'affecter l'approvisionnement en eau douce en Afrique notamment. Or, il est attendu que les concentrations de *Cryptosporidium* et de *Giardia*, dans les eaux de surface en Afrique, augmentent avec une croissance démographique accrue. (35)

## 2.5 Infections fongiques

Le nombre estimé d'espèces fongiques est de 1,5 million, bien que seules 70 000 espèces aient été officiellement décrites. On rapporte qu'environ 300 espèces fongiques sont pathogènes pour l'homme mais seules quelques espèces sont des pathogènes relativement communs. La plupart des microchampignons se développent à des températures d'environ 12 ° C à 30 ° C mais il existe de larges tolérances de température entre les espèces, certaines poussant aussi bien à des températures de -10 ° C et d'autres à +65 ° C. Certains de ces champignons ont donc la capacité de survivre et de se développer aux températures corporelles élevées des espèces animales dont l'Homme. (36)

Ainsi, des étés chauds et secs en association à des précipitations abondantes en hiver constituent des conditions optimales pour la sporulation des champignons et leur persistance dans l'environnement. (29) La croissance et la dispersion des champignons sont sensibles aux changements de température, d'humidité et de vent. Ils semblent mieux se développer dans le sol après de fortes pluies, puis se dissipent plus efficacement dans des conditions chaudes et sèches. (36)

Il est donc suspecté que le réchauffement climatique augmentera la prévalence des maladies fongiques par une modification de la répartition des espèces tolérantes et sensibles à la chaleur, en favorisant les plus thermotolérantes ainsi qu'en créant de nouvelles conditions permettant une meilleure propagation de ces dernières avec pour conséquence, un contact plus étroit avec les populations humaines, comme ce serait le cas pour *Paracoccidioides brasiliensis* et *Cryptococcus gattii*. De plus, par une forte pression sélective, la prévalence d'espèces tolérantes à la chaleur peut augmenter. Il est par ailleurs constaté que certains champignons dans les zones urbaines se développent plus rapidement à des températures plus chaudes que leurs homologues ruraux. (36)

Une étude publiée en 2005 aux USA a mis en évidence le lien entre infections par les *Coccidioides* et les variations climatiques. Il a été observé des pics saisonniers plus élevés de coccidioïdomycoses lorsque les conditions climatiques étaient particulièrement chaudes et sèches. (37)

Dans les climats tropicaux et subtropicaux, il est estimé que les champignons thermotolérants sont plus abondants. L'incidence d'infections fongiques chez l'Homme tel que *P.*

*brasiliensis*, *Penicillium marneffei* et *C. gatti* dans ces régions à tendance à être plus élevée et il est supposé que ce phénomène résulte d'un nombre plus élevé de champignons pouvant faire face aux températures du corps humain. (36)

Il est également pressenti que certaines espèces apprennent à s'adapter à des températures plus élevées par exposition à des températures plus chaudes de manière progressive. Or, certaines d'entre elles pourraient alors supporter la température des mammifères et donc de l'Homme, et devenir de nouveaux pathogènes pour l'espèce humaine notamment en franchissant le système défensif que constitue la barrière thermique fournie par l'endothermie. Ainsi, l'émergence du *Candida auris* chez l'Homme est attribuée au réchauffement climatique. (38)

### **Chapitre 3 Pathologies cardiovasculaires et respiratoires**

Le réchauffement climatique a un impact important sur les pathologies cardiovasculaires et pulmonaires.

Le mécanisme d'action principal passe par la pollution atmosphérique avec plus de 91 % des humains exposés à une qualité de l'air considérée comme insuffisante pour la santé en 2016. Il est estimé par l'OMS que cette pollution serait responsable de la mort prématurée de près de 4,2 millions de personnes dans le monde pour cette même année. Ainsi, cet organisme international attribue environ 58% des décès prématurés liés à la pollution de l'air extérieur en 2016, conséquences de cardiopathies ischémiques et d'accidents vasculaires cérébraux, 18% de bronchopneumopathies chroniques obstructives ou d'infections aiguës des voies respiratoires inférieures et 6% de cancer du poumon. Selon une évaluation menée en 2013 par le Centre international de recherche sur le cancer, il a été démontré que la pollution de l'air extérieur était carcinogène, en particulier pour le poumon, les voies urinaires et la vessie. (39)

Il a également été établi un lien entre la pollution de l'air et des troubles de la reproduction et du développement de l'enfant ou certaines pathologies neurologiques comme le résume le schéma ci-dessous (Fig. 12). (40)

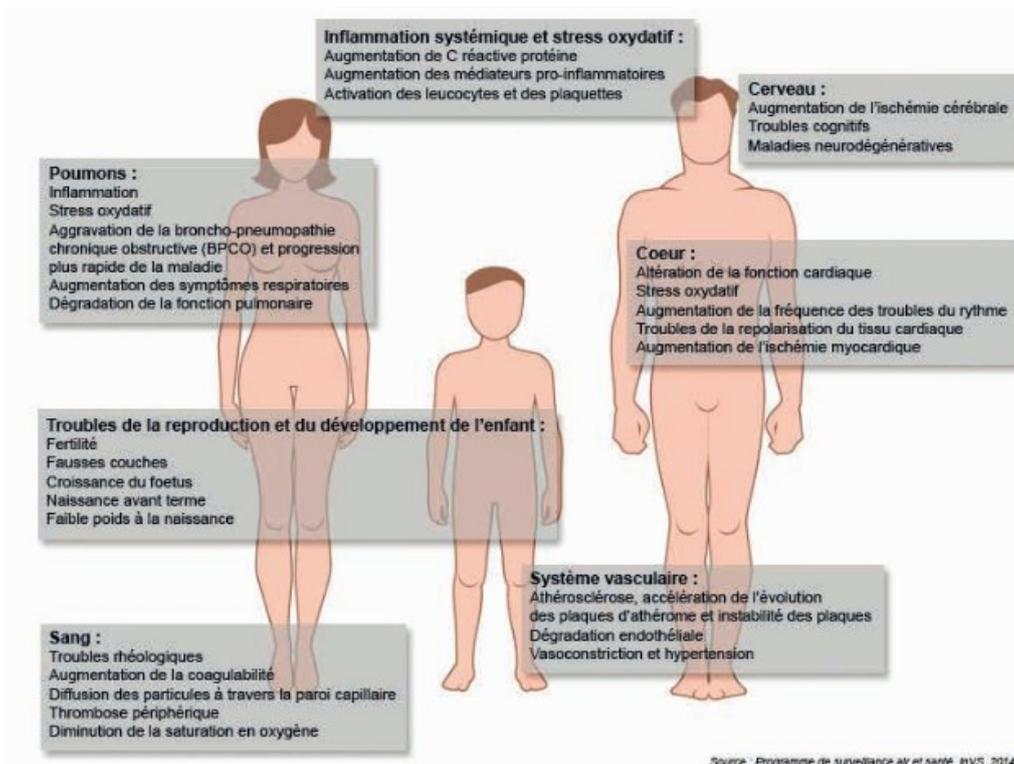


Figure 2 - *Principaux mécanismes d'action des particules fines sur la santé.* Source : InVS , 2014

Par ailleurs, c'est dans les pays à température tempérée que les maladies cardiovasculaires présentent une relation mortalité-température la mieux caractérisée, suivie par les maladies respiratoires et la mortalité totale. En effet, des relations directes ont été établies entre les températures élevées et basses et une augmentation de la pression artérielle, de la viscosité et du rythme cardiaque pour les maladies cardiovasculaires et la bronchoconstriction pour les maladies pulmonaires. (41) Dans le troisième rapport du GIEC, il est d'ailleurs démontré que la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur augmentent le nombre de décès. De nombreuses études ont ainsi fait le rapprochement entre hausse des températures et une notable majoration de la morbi-mortalité par infarctus du myocarde et décompensations cardiaques lors de fort pic de chaleur. Les populations les plus touchées seraient celles les moins exposées à des chaleurs extrêmes. De plus, lors de vagues de chaleurs, la première vague semble être souvent la plus mortelle. Un article, publié en 2015, attribue en partie ces observations à la capacité des cellules à s'adapter au stress thermique grâce à une protéine, la protéine de choc thermique (Hsp pour Heat-shock protéine), qui s'accumulerait en situation de stress thermique et permettrait de protéger le processus d'assemblage et de pliage des protéines et jouerait un rôle anti-apoptotique. (90) Néanmoins, il est également démontré que le changement climatique entraînerait une réduction des décès hivernaux supérieure à l'augmentation des décès liés aux vagues de chaleur en été mais ce phénomène n'est observé que dans les pays tempérés. (41)

La hausse des températures entraîne également des insuffisances rénales chroniques comme cela a été le cas pour une épidémie de maladie rénale chronique chez des travailleurs agricoles

d'Amérique centrale ; celle-ci a été reliée à la déshydratation quotidienne des travailleurs qui ne devaient pas recevoir suffisamment d'eau potable par rapport à la quantité d'eau transpirée. Enfin, il a également été évoqué un effet tératogène engendré par de hautes températures. Néanmoins, d'autres études semblent nécessaires afin de confirmer et approfondir le sujet. (42–44)

La majoration des inondations et de l'humidité, en raison d'un plus grand nombre d'événements climatiques extrêmes, augmente les moisissures dans l'air (45) et la précocité des pollens. L'allongement de la saison des pollens, en raison du réchauffement, majore les allergènes dans l'atmosphère. Cela a des répercussions sur le système cardiopulmonaire d'autant plus que les pollens sont rendus plus agressifs par la pollution atmosphérique chez des sujets davantage sensibles à ces derniers. (39)

La chaleur transforme certains gaz en ozone comme les composants organiques volatils et les oxydes d'azote. Le réchauffement climatique devrait donc accroître la formation et la concentration d'ozone. De plus, des températures plus élevées entraînent une stagnation de l'air augmentant ainsi l'exposition humaine à ces gaz irritants et leur répercussion sur la santé qu'il s'agisse des composants organiques volatils, des oxydes d'azote ou de l'ozone. Cela se traduit dans les systèmes de santé par un nombre croissant de certaines maladies cardio-vasculaires et pulmonaires comme l'asthme par exemple. Les personnes considérées comme étant les plus à risques sont les enfants, les personnes âgées, les personnes travaillant à l'extérieur et les sportifs. (39)

De plus, les nombreuses particules polluantes nous entourant, selon leur taille, peuvent pénétrer plus ou moins profondément dans les voies aériennes, parfois pouvant atteindre le sang, comme c'est le cas des particules fines de diamètre inférieur à 2,5 microns (PM<sub>2,5</sub>), ce qui les rend particulièrement dangereuses : elles sont responsables de nombreuses causes de décès chaque année. Une étude publiée en 2019 montrait qu'une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2,5</sub> était associée à une augmentation de 16% de la mortalité par cardiopathie ischémique et une augmentation de 14% de la mortalité par AVC. (46) Les conséquences de cette pollution, selon certaines projections, devraient à l'avenir toucher toutes les régions du globe à l'exception de l'Afrique et principalement l'Inde et l'est de l'Asie. (47)

Par ailleurs, d'autres particules, celles provenant des tempêtes de sable et de poussière, causent et causeront de nombreux problèmes dans les pays les plus sujets à ce type de phénomène (Pays du Moyen-Orient, Chine, Mongolie et Afrique du Nord). Les particules de plus de 10 µm ne pouvant être inhalées provoquent surtout des irritations de la peau et des yeux, ainsi que des conjonctivites et accroissent le risque d'infections oculaires. Les particules, dont la taille est inférieure à 10 µm, pouvant être inhalées, se déposent souvent dans le nez, la bouche et les voies respiratoires supérieures et causent ainsi des affections respiratoires telles que de l'asthme, des trachéites, des pneumonies, des rhinites allergiques, la silicose,... Enfin, les particules les plus fines, capables de pénétrer dans les voies respiratoires inférieures et la circulation sanguine, peuvent provoquer des troubles cardiovasculaires. Selon l'OMS, environ 400 000 personnes âgées de plus de 30 ans sont décédées prématurément de maladies cardio-pulmonaires dans le monde en 2014, du fait de l'exposition aux particules de poussière. (48)

D'une manière générale, les effets de la pollution sont très importants avec un coût considérable qui peut se chiffrer en milliards d'euros. (49) En France, par exemple, elle serait la troisième cause de mortalité et provoquerait une perte d'espérance de vie pouvant dépasser 2 ans en moyenne dans les villes les plus exposées, et jusqu'à 10 et 9 mois respectivement dans celles entre 2.000 et 100.000 habitants, et les zones rurales. (50) Selon une étude publiée en 2017, il est estimé respectivement à 43.600 et 215.000 décès supplémentaires d'ici 2100 à cause de l'ozone et des microparticules selon le scénario RCP 8.5 avec néanmoins de grandes incertitudes. (47) Ces chiffres, bien que français, reflètent une tendance qui s'observe à l'échelle mondiale. En 2010 par exemple, 40% des morts prématurées dues à la pollution atmosphérique auraient eu lieu en Chine selon le rapport GBD 2010 publié dans The Lancet.

Pour conclure, sont également attendues des maladies cardiorespiratoires consécutives à la malnutrition, notamment l'obésité évoquée en début de chapitre.

## **Chapitre 4    Autres impacts**

### **4.1 Conséquences directes**

#### **4.1.1    Traumatisme physique et stress thermique**

De part les inondations, cyclones, glissements de terrain, de nombreux décès ou blessés sont recensés par noyades ou traumatismes. Les épisodes de sécheresses et feux de forêts sont, quant à eux, davantage responsables d'une augmentation de la morbi-mortalité par stress thermique, troubles hydroélectrolytiques avec déshydratation et insuffisance rénale aiguë ainsi que des intoxications par des gaz anoxiants (CO<sub>2</sub>, CO, HCN) et irritants (suies, aldéhydes, oxydes d'azote et ammoniac,...) responsables de troubles cardiorespiratoires, neurologiques et métaboliques diverses. (51) Il est attendu une augmentation de l'incidence de ces pathologies suite au changement climatique par la majoration de ces phénomènes aussi bien en intensité qu'en fréquence.

#### **4.1.2    Impact psychologique**

Un autre domaine particulièrement impacté est celui de la psychologie. Des études ont montré que les femmes, les enfants et les personnes âgées étaient particulièrement vulnérables aux impacts psychologiques du changement climatique, en particulier ceux liés au stress et à l'anxiété. (52) Les répercussions qui en découlent peuvent être classées en 3 catégories : celles consécutives aux catastrophes, celles faisant suite à un changement progressif du climat et celles découlant des impacts sur les communautés.

Concernant les catastrophes naturelles, leur nombre et leur gravité devraient augmenter selon le GIEC. Des recherches antérieures ont prouvé la relation entre les catastrophes naturelles et la santé mentale et le fonctionnement psychologique. Il est donc attendu une probable augmentation des troubles psychiques. Ces troubles sont divers, notamment les traumatismes psychologiques et le choc en raison de blessures corporelles personnelles, de blessures ou de décès d'un être cher, de dommages ou de perte de biens personnels et de perturbations ou pertes de moyens de subsistance. (52)

Le stress, l'anxiété et la dépression sont également fréquents. Une étude publiée en 2009 et des rapports de MSF ont, par exemple, démontré qu'après de fortes inondations de nombreuses personnes présentaient des crises de panique, des troubles du sommeil, une faible motivation, des cauchemars, des troubles psychosomatiques et un comportement obsessionnel. (53,54) Il semblerait également que des niveaux élevés de détresse et d'anxiété auraient des effets sur la santé physique comme une diminution de la réponse du système immunitaire et un risque accru d'un certain nombre de maladies physiques suite à un stress chronique. (52) Une relation a été établie entre l'augmentation des températures et les consultations aux urgences psychiatriques : l'utilisation des services d'urgences psychiatriques croît avec l'augmentation de la température moyenne. En effet, des températures plus élevées fourniraient une source supplémentaire de stress capable de submerger la capacité d'adaptation des personnes déjà fragiles sur le plan psychologique. (52)

D'autre part, les catastrophes peuvent être responsables de deuils compliqués amenant à des difficultés à reprendre une vie normale, à des troubles dépressifs majeurs et à des syndromes de stress post-traumatique. Ce dernier est relié à des taux de suicide plus élevés, à une probabilité de toxicomanie, anxiété et dépression plus importante ainsi qu'à un risque d'agressions, de violence et de difficultés interpersonnelles plus important. Ces troubles sont aussi bien retrouvés dans les suites de cyclones et d'inondation que de sécheresses. (52,55)

Par ailleurs, les modifications progressives du changement climatique sont également corrélées à de l'anxiété, des dépressions et de l'abus de substance. Il est également rapporté une perte du sentiment d'autonomie et de contrôle, une perte de l'identité personnelle par une perte du métier ou de l'habitation ou des objets personnels lors de catastrophes ainsi qu'un sentiment de désespoir, de fatalisme et de résignation face à l'incapacité d'arrêter le changement climatique, le tout associé à des inquiétudes pour sa famille notamment les plus jeunes. (52)

Enfin, les impacts du changement climatique sont définis comme particulièrement forts sur le tissu communautaire et les relations interpersonnelles. Ces types d'impacts sont sous-étudiés selon le rapport de l'association américaine de psychologie, mais peuvent inclure des éléments comme une probabilité accrue de comportement criminel, de violence et d'agressions ainsi que la perte d'identité communautaire. (52)

## 4.2 Conséquences indirectes

Les destructions d'infrastructures et notamment des centres de santé lors de catastrophes naturelles peuvent avoir un impact local important avec l'impossibilité de dispenser les soins nécessaires habituels qu'ils soient médicaux ou chirurgicaux, biologiques, pharmaceutiques, ... ainsi que ceux en lien direct avec la catastrophe. De plus, les pays avec un système de santé fragile ayant peu de ressources peuvent avoir des difficultés à allouer des ressources supplémentaires afin de traiter les conséquences de la catastrophe sans pour autant délaissier les autres soins. (56)

Le changement climatique sera responsable de mouvements migratoires avec notamment une augmentation du nombre de réfugiés climatiques. Bien que leur nombre soit difficilement estimable, il est évalué à des centaines de millions d'ici 2050. Une des problématiques de la migration sur ces populations sera les répercussions sur leur santé. Ainsi, selon un rapport de l'OMS, il est estimé que, par leurs déplacements, les populations migrantes seraient davantage vulnérables aux maladies infectieuses et pourraient être plus à risque de troubles psychotiques, de dépressions et de syndromes post-traumatiques. De plus, leurs conditions de survie les exposeraient davantage à des maladies chroniques et particulièrement à des maladies cardiovasculaires. Il est également recensé davantage de complications obstétricales et infantiles ainsi que de la malnutrition et de l'exploitation sexuelle, notamment chez les mineurs non accompagnés. (57)

## Conclusion

L'objectif de cette thèse était de recenser et répertorier de manière étendue les répercussions du changement climatique sur la santé. C'est à travers de nombreux et divers phénomènes planétaires tels que l'expansion de la désertification des sols, la majoration de phénomènes extrêmes, la fonte des glaciers et de la cryosphère, la montée des eaux, l'acidification et la désoxygénation des océans que la santé des humains est affectée aussi bien sur le plan physique que psychologique. En effet, les pathologies influencées par le changement climatique concernent la malnutrition, les traumatismes, les maladies infectieuses (infections virales, bactériennes, parasitaires et fongiques), mais impactent aussi le système cardiovasculaire et pulmonaire, et provoquent des troubles psychiatriques. Ces conséquences pourront impacter la vie entière d'un individu. Néanmoins, les répercussions du climat ne s'arrêtent pas là, notamment dans les domaines de la politique et de la géopolitique que nous n'avons pu explorer dans cette thèse. Les conflits et phénomènes migratoires qui en découlent ont également des répercussions catastrophiques pour les populations et leur santé et sont, par conséquent, sources de programmes humanitaires aussi bien à l'échelle nationale qu'internationale.

Les limites de ce travail sont liées aux difficultés à obtenir des prédictions fiables en raison de nombreuses inconnues sur l'évolution du climat, à établir des liens de cause à effet avec précision et s'étalant sur le long-terme ; et enfin à la réalisation d'une analyse globale et non loco-régionale de la problématique, ne prenant pas ainsi en compte les capacités adaptatives des pays.

Par ailleurs, de nombreux programmes humanitaires sont en cours ou sont amenés à être mise en place. Ces programmes (vaccination, traitement du VIH, dénutrition,...) ont pour la plupart un soutien international et sont basés sur des dons. Les pays participants et l'économie, ne seront probablement pas épargnés par le dérèglement climatique et les coûts associés seront conséquents. La question de la pérennité de ces programmes peut se poser si le soutien international s'affaiblit devant les préoccupations de chacun des pays participants. Ce phénomène a déjà été observé lors de la crise sanitaire du COVID-19, et la baisse des financements des programmes de lutte contre la faim se poursuit malgré les appels aux dons de la FAO et du Programme alimentaire mondial des Nations Unies. Ainsi, en cas de fermeture des programmes actuellement actifs dans de nombreuses régions du globe, par manque de financement, la recrudescence de maladies jusqu'à présent contrôlées voire en cours d'extinction, pourraient resurgir, ce qui constituerait un pas en arrière significatif qui s'ajouterait aux difficultés humanitaires déjà présentes.

# ANNEXE : Répercussions sur l'environnement du changement climatique et conséquences sur l'Homme et ses activités

## I. Sécheresse et désertification

### 1. Définition

#### i. Désertification et aridité

Par le terme « désertification », la Cnued (La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement) désigne « la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines », que ces dégradations soient réversibles ou irréversibles. Elle ne prend pas en compte les déserts, considérés comme des zones hyper-arides, mais comprend son extension.

Il est à noter la différence entre la sécheresse, phénomène climatique temporaire intéressant aussi bien les zones arides que plus humides, et l'aridité, concept climatique à référence spatiale (zone aride) et correspondant à des conditions climatiques caractérisées par la faiblesse des précipitations moyennes annuelles (moins de 250 mm d'eau par an) ainsi que le fort déficit de celles-ci par rapport à l'évapotranspiration potentielle.

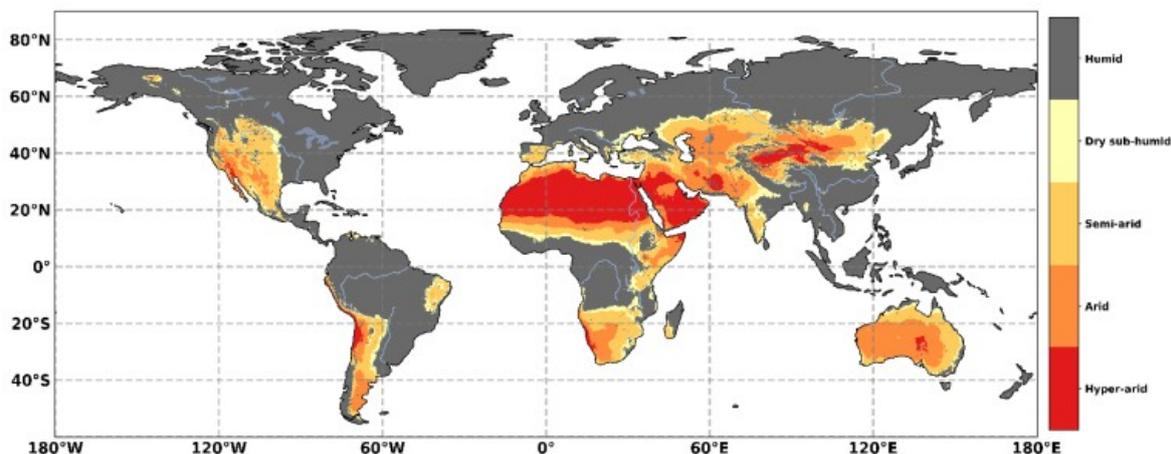


Figure 3 - *Distribution géographique des terres arides, délimitée selon l'indice d'aridité (IA). La classification de l'IA est : humide  $IA > 0,65$ , subhumide sec  $0,50 < IA < 0,65$ , semi-arides  $0,20 < IA < 0,50$ , aride  $0,05 < IA < 0,20$ , hyper-aride  $< 0,05$ . Données : TerraClimate - précipitations et évapotranspiration potentielle (1980 – 2015) ( Abatzoglou et al., 2018)*

La majorité des zones arides se localise en Afrique (37%), en Asie (33%) et en Australie (14%) comme le montre la figure 1. En 2000, environ 70% de ces terres arides étaient déjà soumis à

la désertification selon le centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) et celles ci n'ont eu de cesse d'augmenter au cours des dernières décennies. Selon l'Atlas, c'est près de 90% des terres (tous types) qui pourraient être dégradées d'ici 2050. (58)

## *ii. Sol et érosion*

Le sol, résultat de la transformation de la roche-mère, est impacté par la topographie, les facteurs biologiques et les facteurs météorologiques (pluie, température et vent). Selon ses constituants et sa composition en matière organique, le sol a une qualité nutritive variable. Dans les zones arides, en raison d'une faible accumulation de dépôts organiques, la teneur du sol en matières organiques est faible. De plus, les sols arides sont caractérisés par un lessivage significatif des nutriments et une érosion intensive des minéraux. Cela a pour conséquence de rendre leur fertilité naturelle souvent faible car celle-ci dépend grandement de la teneur en matière organique de la couche arable. (59)

La pluie, quant à elle, a une influence double. D'une part, l'érosion provoquée par la chute des gouttes de pluie, appelée érosion de rejaillissement, peut dégrader ou détruire la structure du sol. Lorsque l'intensité des précipitations se rapproche de 35 millimètres par heure (dénommée "seuil d'érosion"), il se produit alors une très forte augmentation du pouvoir érosif de la pluie. Beaucoup de pluies sous les tropiques se situent au-dessus de cette valeur. D'autre part, elle joue sur le débit du ruissellement, et donc sur le détachement des nutriments. Plus le débit est important, plus la quantité de terre exportée est importante. La combinaison de ces différentes composantes explique le pouvoir plus érosif des grosses pluies. (60) Dans les zones arides, la profondeur de la couche nutritive des sols est faible, leur érosion amène par conséquent à une rapide disparition de cette source nutritive.

## **2. Répercussions du réchauffement climatique**

Selon les rapports du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), les vagues de chaleur seront amenées à être de plus en plus fréquentes, plus intenses et plus longues. Ces dernières s'accompagneraient d'une augmentation des incendies qui libèrent de forte quantité de polluants et de carbone dans l'atmosphère, un des principaux facteurs du réchauffement et source de dégradation des sols. (58) En 2019, de multiples exemples ont été rapportés par les médias et le monde scientifique, comme les incendies en Arctique, en Australie et ceux d'origine humaine de la forêt amazonienne.

Le stress engendré par de fortes chaleurs et les sécheresses est également responsable d'un taux de mortalité des arbres plus important, provoquant des modifications dans les écosystèmes et l'hydrologie des sols. (61)

Les changements à venir concernant les précipitations sont assez difficiles à cerner. Cependant, selon le GIEC, elles devraient être plus importantes aux latitudes élevées et plus faibles

dans la plupart des régions émergées subtropicales. Leur intensité serait également plus élevée, responsable, dans les régions basées sur l'alternance de saisons sèches et de saisons des pluies, d'une majoration des précipitations lors de la saison des moussons par exemple comme observé au Bangladesh. Les mécanismes sous-jacents seront davantage détaillés dans la partie suivante.

La qualité de l'eau douce pourrait également être altérée, bien que ceci puisse être compensé par des débits plus importants dans certaines régions. (62)

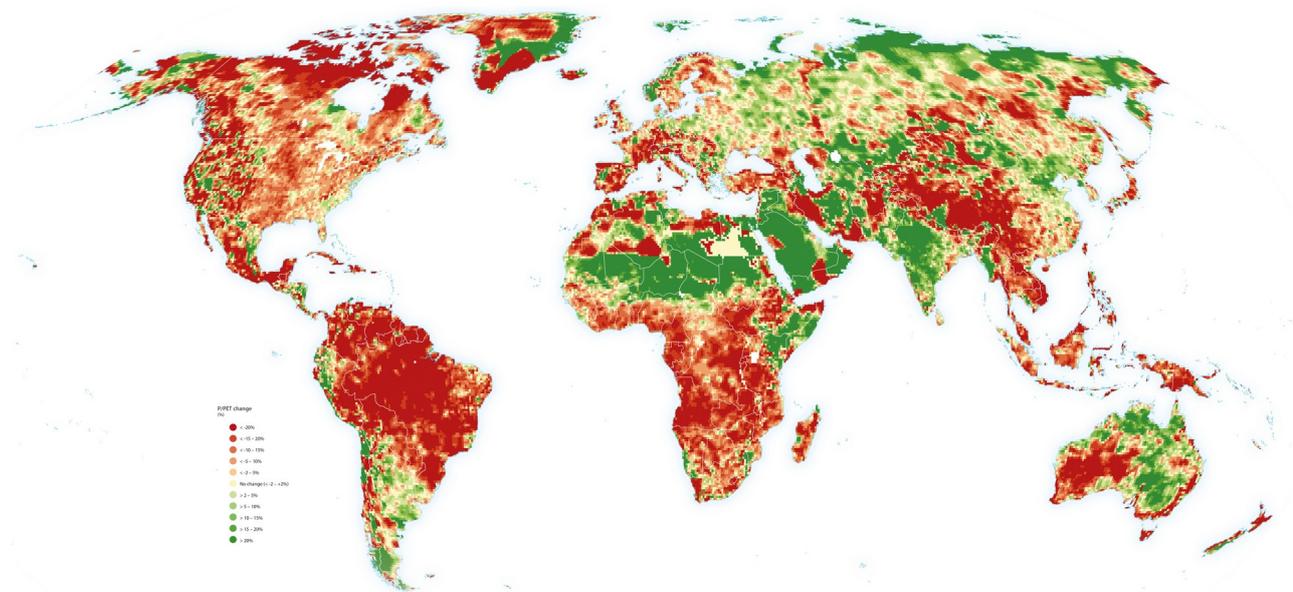


Figure 4 - **Représentation des futures modifications de l'index d'aridité (IA) sur une période de 30 ans.** Résultats basé sur le scénario RCP 8.5 utilisant le modèle climatique 27 CIMP5 Source: Reynolds, J. et al

Selon les projections du WAD (World Atlas of Desertification) concernant l'aridité des terres, ces dernières vont se majorer de manière globale comme le montre la figure 2 (63) . En raison d'une augmentation de la température de l'air de manière globale, un changement sur le long terme de l'aridité est attendu avec une diminution globale de l'IA comme le suggère près de 80 % des 27 modèles de prédiction. (64) De plus, les températures anormales à la surface des océans et des mers engendrent une modification des précipitations à distance sur les terres. Certaines vont voir le taux de précipitations augmenter (comme le Sahel avec le réchauffement de l'Atlantique Nord) alors que d'autres régions vont voir ce taux diminuer. (65) Les projections de l'expansion des terres arides ne sont donc pas homogènes sur l'ensemble du globe. On peut par exemple observer une extension de l'aridité dans les régions de l'Amérique du Nord, l'extrémité nord de l'Afrique et le bassin méditerranéen ainsi que le sud de l'Afrique et l'Asie centrale alors que certaines régions vont s'humidifier comme les régions tropicales de l'Afrique et l'Inde. Néanmoins ces phénomènes régionaux restent minimes en regard des zones dont l'IA diminue. (64)

Si on applique les modifications climatiques aux phénomènes vus précédemment, on risque d'observer sur des terres déjà partiellement dégradées, une altération de la végétation, surtout que

les épisodes de sécheresse et incendies se majorent (confiance moyenne). Le couvert végétal va alors s'éclaircir et la production de la biomasse diminuer. Les capacités de reproduction et de régénération de la végétation vont se réduire de plus en plus. Ainsi l'érosion va s'accroître par le manque de couvert végétal protecteur contre le vent et la pluie, entraînant une destruction progressive du sol. De plus, le ruissellement augmentera avec la majoration des épisodes de pluies intenses et une diminution de la perméabilité du sol à cause de sa modification structurale due, en partie, à la sécheresse. Cette érosion va intensifier la dégradation du sol et de ses capacités nutritives, ceci ayant à son tour un effet sur la végétation. Une spirale de dégradation se constituera ainsi et conduira à une désertification irréversible. (5)

L'apparition de plantes invasives va également contribuer à la désertification des terres et une altération de l'écosystème avec un haut niveau de confiance : l'augmentation du CO<sub>2</sub> dans le réchauffement climatique favorise l'expansion de certaines plantes invasives. Certaines d'entre elles vont rendre le sol plus sensible aux phénomènes d'érosion et de ruissellement lors de fortes précipitations. Ceci est observé dans le grand bassin de l'ouest américain dont près de 20 % de son écosystème ont été dégradés par des plantes invasives amenant à une perte de la biodiversité marquée par une diminution des ressources alimentaires et des habitats naturels.

Enfin, les terres possédant un faible couvert végétal sont davantage exposées au vent ce qui majore d'une part l'érosion de ces terres et entraîne d'autre part la mobilisation du sable ou de la poussière lors des tempêtes de sable ou de poussière. Le continent africain constitue la plus grande source de poussière provenant du désert et certains estiment que 50 % de la poussière atmosphérique proviendraient du Sahara. (58) Selon les dernières études, notamment publiées en 2018, il est établi avec un niveau de confiance élevé une majoration des tempêtes de sable et de poussière, le réchauffement climatique étant l'un des acteurs responsables. (66) En 2017, une étude faisait déjà le rapport entre l'augmentation en fréquence et en intensité des tempêtes de poussière au Moyen-Orient avec la réduction à long terme des précipitations et un couvert végétal plus bas. A cette époque, il était encore recommandé de poursuivre les recherches pour établir les liens précis entre changement climatique, désertification et tempêtes de poussière et de sable. Ce lien a été prouvé l'année suivante par Rodriguez-Caballero. (67)

La figure 3 publiée dans le rapport du GIEC en 2019 permet de résumer l'ensemble des répercussions et les interactions établies précédemment. (58)

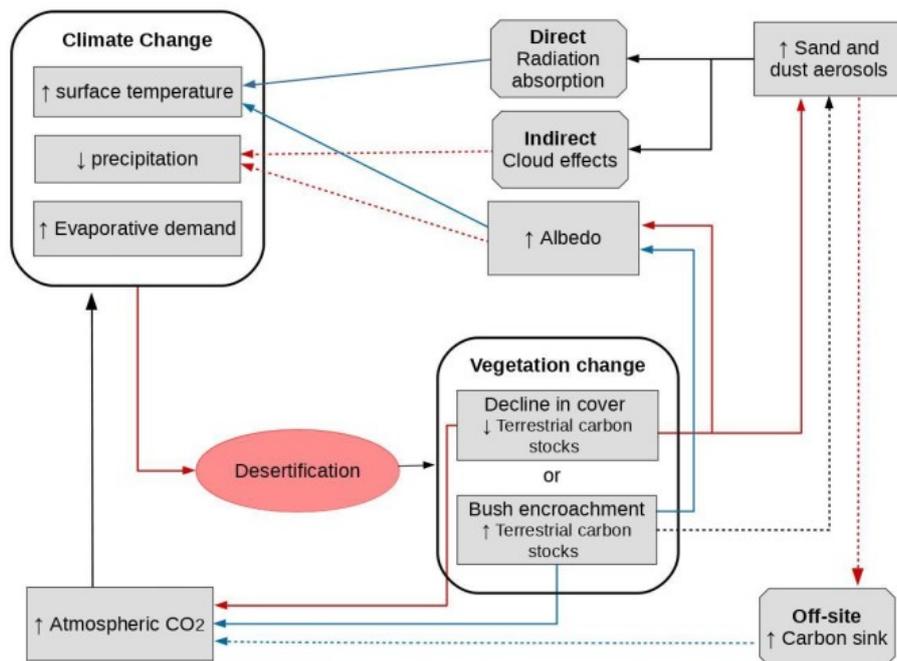


Figure 5- Schéma des principales voies par lesquelles la désertification et le changement climatique interagissent. Les flèches rouges indiquent un effet positif alors que les flèches bleues indiquent un effet négatif. Les flèches noires indiquent un effet indéterminé (potentiellement positif ou négatif). Les flèches pleines traduisent un effet direct tandis que les flèches en pointillé traduisent un effet indirect.

### 3. Conséquences

#### i. Agriculture et bétail

La transformation des terres en déserts n'est que la partie émergée d'un iceberg encore plus inquiétant que constitue la dégradation des sols. Les terres cultivables perdent leurs qualités nutritives, deviennent moins favorables à la pousse des végétaux, le sol perd sa structure... Comme cité précédemment, selon l'atlas du JRC (Joint Research Centre), les trois quarts des terres de la planète seraient aujourd'hui dégradés, et 90% pourraient le devenir d'ici 2050. Il est estimé qu'une surface équivalente à la moitié de celle de l'Union Européenne est détériorée annuellement, l'Afrique et l'Asie étant les plus affectées.

Les conséquences de cette dégradation des sols sont à la fois écologiques et économiques avec un coût estimé à des dizaines de milliards d'euros par an. L'effet combiné de cet épuisement des sols et du changement climatique qui les catalyse pourrait réduire les récoltes de 10% d'ici 2050. L'Inde, la Chine et l'Afrique subsaharienne seraient les plus touchées, et la production agricole pourrait y diminuer de moitié alors qu'ils constituent les deux pays les plus peuplés pour les deux premiers. La population de l'Afrique subsaharienne est estimée à près de 1,7 à 2,2 milliards de personnes d'ici 2050 selon le Cairn . (68) Ainsi, selon le GIEC, près de 3 milliards de personnes vivent dans des régions arides et le nombre de personnes vivant dans des zones menacées

par la désertification est estimé à plus de 630 millions soit près de trois fois plus de personnes par rapport au début des années 60. Selon un niveau de confiance élevé, une majoration de la pénurie d'eau avec un impact négatif sur le système agricole sera observée dans les zones semi-arides d'Afrique alors que les sécheresses pourraient davantage amplifier la désertification dans les régions sud-ouest de l'Asie centrale. (5)

La désertification est responsable de la réduction des rendements agricoles et de la diminution de la résistance des moyens de subsistance agricoles et pastoraux alors que cela constitue le principal moyen de subsistance pour ces populations. Ainsi, il est estimé fort probable que les principales populations vulnérables seront les femmes, les jeunes enfants et les personnes âgées ainsi que les personnes les plus pauvres et principalement les populations pastorales et agropastorales, estimées difficilement à près de 100 à 200 millions de personnes, car non préparées à faire face aux variations du climat et ses phénomènes extrêmes. (5)

Une augmentation des températures aura également un impact à la fois direct et indirect sur les espèces animales et particulièrement le bétail. Pour le bétail, elle se traduira directement par une augmentation du stress physiologique et une augmentation des besoins d'hydratation. Cela s'accompagnera d'une diminution de la production de lait, d'œufs et de viande ainsi que d'un stress lors des périodes de reproduction et d'une augmentation saisonnière de maladies et d'épidémies touchant le bétail. De manière indirectes, une diminution de la productivité et de la qualité des cultures fourragères et des fourrages sera observée.

Enfin, comme expliquée précédemment, il est fort probable que certains territoires soient touchés par davantage de tempêtes de sable et de poussière. Cela aura pour conséquence une dégradation des plantes et des plantations, une dégradation des terres, un enfouissement des végétaux et une atteinte du bétail avec pour conséquence une diminution des moyens de subsistance alimentaire. De plus, ces tempêtes vont altérer la qualité de l'eau et la quantité d'eau disponible pour les systèmes d'irrigation en diminuant les capacités de stockage des réservoirs par envasement et blocage des canaux de transport. Enfin, la santé humaine sera davantage affectée par des maladies respiratoires, un stress cardiaque et des infections oculaires (69,70).

## ii. *Pathogènes et maladies infectieuses*

Le réchauffement climatique présente un effet sur différents pathogènes responsables d'une augmentation des maladies infectieuses chez l'Homme. Les maladies transmissibles par l'eau et l'alimentation par exemple, sont impactées positivement par la majoration des températures qui a une conséquence directe sur la survie et la persistance des organismes pathogènes. L'augmentation de la température de l'air et de l'eau par exemple, améliore la survie et la prolifération de certains agents pathogènes comme le *Vibrio cholerae* ou certains parasites. Les conditions climatiques, en ayant des répercussions sur la disponibilité et la qualité de l'eau, entraînent une hausse de l'intensité et de la fréquence des maladies transmises par cette dernière et par l'alimentation. (71)

Le changement climatique va aussi engendrer des conditions optimales pour la sporulation des champignons et leur persistance suite aux modifications écologiques et hydrologiques des sols.

Ces derniers ont un rôle dans la permanence des pathogènes fongiques invasifs dans l'environnement et la libération de spores infectieuses. Les maladies fongiques invasives pourront donc être plus nombreuses. (71)

### *iii. Exemples*

Entre la fin 2019 et le début de l'année 2020, plusieurs alertes ont été lancées par l'ONU (Organisation des Nations Unies) et la PAM (Programme Alimentaire Mondial) face à un risque de famine sans précédent touchant les pays de l'Afrique Australe. La moitié de la population du Zimbabwe, soit 8 millions de personnes, était menacée, faisant du Zimbabwe le pays le plus touché. Cette situation a été attribuée en partie aux conditions météorologiques irrégulières, à un déficit pluviométrique depuis plusieurs années et à une augmentation des tempêtes et des sécheresses, de plus en plus fréquentes et destructrices dans ces pays. Les températures augmenteraient dans ces régions à un rythme deux fois supérieur à celui observé sur la planète. (72) (73)

Au Kenya, quelque 1,8 million de bovins supplémentaires pourraient être perdus d'ici 2030 en raison de l'augmentation de la fréquence des sécheresses. Le coût de la perte des animaux et de la production s'élèverait à près de 630 millions d'USD (United States Dollar). (7)

Le changement climatique, par l'augmentation des températures, de la sécheresse et de la désertification, majore en partie les tempêtes de sable et de poussière touchant principalement les pays d'Afrique du nord, la péninsule arabique, l'Asie centrale et la Chine. (70) (69) En Iran, la région du Khouzistan est particulièrement touchée. Les tempêtes y sont responsables de la dégradation des plantations, d'une atteinte du bétail et de maladies avec principalement des maladies respiratoires, un stress cardiaque, des infections oculaires et des morts prématurés. Cela a engendré des rassemblements dans la région pour protester contre la gestion des tempêtes par le gouvernement et a entraîné des discussions avec les pays considérés « responsables » de ces intempéries. (69,70)(74)

## **II. Tempêtes et cyclones**

### **1. Définition et formation**

Pour des vents inférieurs à 63 km/h, on parle de dépression et pour des vents compris entre 63 et 119 km/h, il s'agit de tempête.

Les cyclones correspondent à de très fortes dépressions qui se forment au-dessus des eaux chaudes des océans de la zone intertropicale. Ils s'accompagnent de vents très violents et de pluies torrentielles. On les nomme également ouragan (dans les Antilles et le golfe du Mexique) ou typhon (ouest du Pacifique). Un cyclone est constitué d'une énorme masse nuageuse s'enroulant en spirales autour d'une partie centrale appelée " œil du cyclone ". Le diamètre des cyclones varie de 500 à

1000 kilomètres. Leur force est classée sur une échelle allant de 1 à 5 selon la vitesse maximale des vents qui les constituent. La catégorie 1, définie comme faible, est caractérisée par des vents d'au moins 120 km/h. La catégorie 5 (la plus rare), avec des vents de plus de 250 km/h, est jugée dévastatrice. Chaque catégorie correspond approximativement à un certain niveau de dégâts, aussi bien sur les infrastructures humaines que sur la nature. (75) La saison des cyclones s'étend de juin à novembre, avec un pic d'intensité à la fin de l'été, à cause des mers particulièrement chaudes. Ils se déplacent à des vitesses variables selon les latitudes (aux basses latitudes, de 10 à 30 km/h et aux hautes latitudes, jusqu'à 80 km/h). Les zones où les vents soufflent dans la même direction que la trajectoire générale de la tempête subissent le maximum de la violence destructrice du cyclone. Un ouragan peut se déplacer sur une trajectoire couvrant des milliers de kilomètres avant de mourir après 7 à 9 jours de vie, selon son cheminement. (75)

Pour qu'un cyclone puisse se former, plusieurs prérequis sont nécessaires. Tout d'abord, il a besoin d'énergie qu'il puise principalement de chaleur latente. Cela suppose, pour sa formation et son entretien, qu'il existe une étendue océanique suffisamment chaude, sur les premières dizaines de mètres de profondeur, avec une évaporation intense et des transferts de chaleur de l'océan à l'atmosphère qui peut se charger d'humidité. Cela explique pourquoi les cyclones ne se forment pas sur les continents ou sur les étendues maritimes froides et qu'ils s'affaiblissent sur les îles suffisamment étendues (type Grandes Antilles).

Un deuxième prérequis concerne l'humidité et l'instabilité de l'atmosphère. Une forte humidité et une atmosphère instable sont nécessaires à la formation et à l'entretien de nuages verticaux qui constituent les cyclones. Enfin, ce qui est déterminant pour sa formation, c'est le différentiel de température entre la couche superficielle de l'océan et l'atmosphère. En effet, les cyclones se caractérisent par des vents très violents soufflant de façon circulaire autour d'un centre de basses pressions qui constitue l'œil et qui se développe lorsque de l'air extratropical dense et froid s'intercale sous l'air saturé et chaud de la zone intertropicale et force celui-ci à s'élever en altitude. Des bords de la dépression vers son centre, la pression atmosphérique tombe brutalement et la vitesse du vent augmente. (75,76)

## **2. Répercussions du changement climatique**

Sous l'effet du réchauffement, la température de l'océan va augmenter, mais également celle de l'air sans différence majeure entre les deux. Or, ce différentiel est essentiel à la formation des cyclones. (76) De nombreux modèles prédictifs ont été réalisés afin de déterminer l'évolution de la fréquence de ces cyclones mais des résultats très variables ont été obtenus. Certains retrouvent une majoration de ces derniers mais la plupart des modèles évoque leur diminution ou un nombre constant. (77,78)

Concernant leur répartition géographique, il est attendu une variation au niveau des bassins d'activité à deux niveaux. Tout d'abord, selon certaines projections climatiques, l'eau de l'Atlantique tropical devrait se réchauffer davantage que celle du Pacifique ouest amenant l'activité cyclonique à y être plus active. D'autre part, il est possible que la zone de distribution de ces

cyclones se déplace de quelques centaines de kilomètres vers les pôles amenant à toucher des zones épargnées jusqu'à présent. (77)

Chercheur au NRCM et spécialiste des cyclones tropicaux, Fabrice Chauvin retrouve par des simulations climatiques à haute résolution spatiale une probable majoration de l'intensité de ceux-ci. Cela s'explique par le fait qu'un air plus chaud peut contenir davantage de vapeur d'eau, ce qui accroît le transfert d'humidité dans l'atmosphère et la puissance cyclonique. (77,79) Cela ne se traduira pas systématiquement par des cyclones plus intenses mais ils auront davantage de capacité à l'être. (77) Il est suspecté que d'ici la fin du siècle, le nombre de cyclones de catégorie 4 et 5 sera au moins doublé et ce, particulièrement au niveau de la partie nord-ouest de l'Atlantique. De plus, suite à la montée du niveau de la mer et des océans, les cyclones auront une plus grande pénétration dans les terres. Certains chercheurs ont évoqué la possibilité de créer une 6<sup>ème</sup> catégorie dans le futur. (80) Aujourd'hui, 10 % des cyclones atteignent leur intensité potentielle mais cette proportion semble déjà augmenter et va probablement se poursuivre dans le siècle à venir. (77)

Enfin, au-delà de la majoration des vents, c'est aussi l'augmentation des pluies torrentielles qui est évoquée par plusieurs modèles haute résolution avec une augmentation en moyenne de 10 à 15 % des précipitations dans les 100 km autour des cyclones pour un scénario de réchauffement de la planète de 2°C. En effet, une atmosphère plus chaude sera en capacité d'être plus humide et c'est ce supplément d'humidité qui sera à l'origine d'un renforcement des pluies cycloniques. Ce phénomène a été particulièrement exploré lors des pluies torrentielles de l'ouragan Harvey en 2017. (79) Selon une étude publiée en 2019 par des scientifiques de la NASA, de plus en plus d'ouragans de l'Atlantique Nord ralentissent dans leur déplacement, générant ainsi des cumuls de précipitations extrêmes. Dorian, ouragan de catégorie 5, est par exemple resté stationnaire sur les Bahamas pendant plus de 24 heures. (81)

Ces phénomènes observés pour les cyclones sont similaires à ceux qui sont attendus pour les tempêtes avec une fréquence incertaine mais une intensité croissante des vents et des précipitations. La majoration des précipitations se retrouve également lors de simple dépression et est responsable par exemple de plus grandes chutes d'eau lors des moussons. Mais ce phénomène serait contrecarré par une altération de la saison des moussons suite à une possible augmentation des années sans moussons, notamment en Inde avec des répercussions importantes sur les plantations de riz. (82)

### **3. Conséquences sur les populations humaines**

Les vents des tempêtes tropicales peuvent déjà causer des dégâts importants. Lorsqu'une tempête continue de se renforcer, elle atteint le stade d'ouragan qui, selon la puissance de ses vents, la quantité des précipitations et l'agitation de la mer ou de l'océan, causera des dégâts plus ou moins considérables. (75) Selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, les dépenses engendrées par ces cyclones pourraient atteindre les 300 milliards de dollars par an dans 50 ans. Par ailleurs, avec les modifications des zones de distribution de ces cyclones, des zones épargnées jusqu'à présent devront faire face à ces derniers alors qu'elles n'y sont pas forcément préparées. (77)

Tempêtes et cyclones ont des conséquences sur la sécurité alimentaire, les infrastructures et la santé des populations. Elles seront illustrées ci-dessous par les cyclones Idai et Kenneth qui ont tous deux touché le Mozambique à six semaines d'intervalle en mars et avril 2019.

*i. Dégradation des sols et des ressources alimentaires*

Les cyclones accompagnés de fortes précipitations occasionnent de nombreux dégâts notamment dans les zones montagneuses et inondables engendrant ainsi crues subites et inondations. (75) Les conséquences immédiates des cyclones et tempêtes sur le plan alimentaire peuvent se traduire par une diminution des productions alimentaires, voire une destruction totale des semis et plantations ainsi que des réserves alimentaires et une perte du bétail. Bien que de nombreux sols des plaines inondables souffrent régulièrement d'inondations, l'augmentation de l'ampleur de ces dernières entraîne l'immersion de nouvelles zones jusqu'à présent épargnées. (5)

Selon un rapport du GIEC, les précipitations importantes ont pour conséquence l'érosion du sol et la survenue d'inondations qui majorent le stress hydrique des plantes et diminuent la sécurité de l'eau. Au niveau des systèmes agricoles, les fortes précipitations et les inondations peuvent retarder les semis, augmenter le compactage du sol et provoquer des pertes de récoltes par anoxie et maladies des racines. Dans certains cas, les inondations peuvent affecter le rendement davantage que la sécheresse, en particulier dans les régions tropicales comme l'Inde et dans certaines régions de hautes et moyennes altitudes diminuant ainsi la sécurité alimentaire. Il existe également, avec un niveau de confiance élevée, une corrélation positive entre le réchauffement climatique et les futurs risques d'inondation notamment près des rivières et dans les plaines inondables. (58)

Les immersions de la surface des sols associées à la saturation du sol entraînent souvent une diminution de la qualité du sol par la perte de nutriments avec une diminution de la productivité des plantes et stimulent la croissance microbienne. Bien que les sols aient tendance à récupérer rapidement après l'élimination des eaux de crue, les conséquences de la répétition d'inondations majeures sur des périodes plus longues ne sont pas clairement établies concernant la qualité de ces sols. Un impact négatif a été observé dans certaines prairies soumises à de fortes précipitations, avec des sols saturés, entraînant une diminution de la reproduction de la biomasse et des taux de germination, mais la productivité globale de ces prairies est restée constante. De plus, les précipitations peuvent être bénéfiques par l'apport des nutriments aux régions en aval. (5)

En 2019, lorsque le Mozambique a été touché par le cyclone Idai, les inondations ont été majeures en raison de fortes précipitations qui ont eu lieu en amont et en aval du cyclone. L'ampleur a été telle que cela a été comparé à « un océan intérieur » aussi grand que le Luxembourg, soit une superficie d'environ 125 kilomètres de long sur 25 kilomètres de large, comme le montre la figure 4. (83)



*Figure 6- Image satellitaire montrant une plaine inondable recouvrant une surface de 125 km sur 25 km. Photo : PAM/Déborah Nguyen*

Selon MSF, dans certaines zones, il a fallu jusqu'à un mois avant que l'eau ne reflue totalement, retardant ainsi la plantation des semis. Des productions agricoles et des réserves alimentaires ont été perdues et un soutien alimentaire a été mis en place pour subvenir aux besoins en nourriture de la population. (84)

Peter Rodrigues , le coordinateur des secours d'urgence du programme alimentaire mondial (PAM), a déclaré que son agence avait aidé environ 1,6 million de personnes. Une deuxième phase de distribution alimentaire aura été nécessaire et aura duré jusqu'à la campagne agricole suivante, soit mars 2020. Le coût total de l'opération aurait coûté 110 millions de dollars et aidé environ 600.000 à 700.000 personnes de plus. (83)

De plus, les inondations ont engendré une contamination des réservoirs d'eau potable rendant son accès plus difficile et majorant ainsi le risque de pathologies infectieuses qui seront détaillées ultérieurement.

## *ii. Dégradation des infrastructures*

Lors d'un cyclone, les infrastructures peuvent être fortement endommagées par les crues, les glissements de terrain, les coulées de boues et les inondations rendant, par exemple, les routes inaccessibles. Les vents violents peuvent abîmer les habitations et autres infrastructures comme des hôpitaux, des écoles ou des commissariats mais aussi les réseaux électriques et téléphoniques. La houle de la mer peut également s'avérer très destructrice détruisant constructions du littoral, bateaux, ports et quais. (75)

Au Mozambique par exemple, le cyclone Idai a touché Beira, deuxième ville du pays : 90% de la zone autour de la ville ont été détruits. Plusieurs salles de l'hôpital de Beira et son bloc opératoire ont été démolis et 17 autres centres de santé ont subi de graves dommages rendant difficile de soigner les victimes directes et indirectes du cyclone. (56)

Les coûts de reconstruction s'avèrent majeurs d'autant plus que ce sont souvent des pays à faible revenu qui sont touchés. Selon l'ONU, une évaluation post-catastrophe des besoins a été effectuée par le PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement), l'Union Européenne, la Banque Mondiale et la Banque Africaine de Développement. Il a été estimé que le Mozambique aurait besoin de près de 3,2 milliards de dollars pour la reconstruction post-cyclone (Idai et Kenneth) dans les régions affectées, soit près d'un quart du PIB du pays (PIB en 2018= 14,717 milliards de dollars selon la banque mondiale). Or, en juin 2019, seul 1,2 milliard de dollars a été promis. Les Nations Unies ont également lancé un appel de fonds humanitaire de 282 millions de dollars mais qui reste actuellement largement sous-financé. (85)

## *iii. Santé*

En dehors des phénomènes de dénutrition, suite à la perte des productions agricoles et du bétail évoquée précédemment, les populations touchées par ces catastrophes doivent également faire face à d'autres problématiques de santé, conséquences directes ou indirectes du cyclone.

De nombreuses personnes présentent des traumatismes aussi bien physiques - plaies et fractures - que psychiques, et ce, sans compter les nombreux décès occasionnés. La destruction des réservoirs d'eau potable, des infrastructures de gestions des déchets et eaux usées et la stagnation des eaux constituent un terrain favorable pour la reproduction des bactéries au péril orofécal et aux moustiques vecteurs de maladies. Les populations locales sont ainsi plus sensibles aux maladies infectieuses et sont d'autant plus vulnérables que les habitations et les moustiquaires sont détruites. (84,86) Enfin, la destruction des hôpitaux et autres structures de soins peut entraver les politiques de santé publique dans les régions touchées et la prise en charge des autres maladies aiguës ou chroniques courantes.

Lors du premier cyclone au Mozambique, il a été observé une recrudescence du paludisme et l'une des craintes principales sur place était le redoublement du choléra. Malgré une large

campagne de vaccination touchant au moins 750 000 personnes, l'épidémie n'a pu être prévenue, amenant à la création d'hôpitaux supplémentaires spécifiques aux patients atteints du choléra. (84,86)

### **III. Impacts sur l'océan et sur la cryosphère**

#### **1. Définitions**

L'océan et la cryosphère sont des éléments indispensables de la vie sur Terre et c'est près de 670 millions de personnes vivant dans des régions de haute montagne et 680 millions vivant dans des zones côtières à faible élévation qui dépendent directement de ces systèmes. (87)

La cryosphère est désignée par le GIEC comme correspondant aux régions gelées de la terre *id est* la neige, les glaciers, les calottes glaciaires et les plates-formes de glace, les icebergs, les glaces de mer (banquise), de lac et de rivière, ainsi que le pergélisol et les sols gelés saisonniers. (87)

Le pergélisol, davantage connu par son terme anglais « permafrost », est, quant à lui, défini comme correspondant aux terrains de subsurface dont la température ne remonte jamais au-dessus de 0°C pendant une année au moins. Il est un des constituants de la cryosphère et est présent sur environ 20% de la surface continentale de la Terre. Bien qu'on le retrouve essentiellement aux hautes latitudes, on le retrouve aussi à de plus basses latitudes dans les massifs montagneux. (88)

La salinisation est définie par le Larousse comme étant l'augmentation dans les sols et l'eau douce de surface ou souterraine de sels à haute teneur en sodium (sodification) ou d'hydrosolubles. Ce phénomène altère la qualité de l'eau et peut rendre le sol impropre à la culture. Il joue ainsi un rôle dans la désertification des sols évoquée précédemment. La salinisation des sols progresse dans le monde et concerne un cinquième des terres irriguées, ce qui ferait perdre chaque jour 2000 hectares de terres cultivées. En l'espace de deux décennies, la superficie totale des terres irriguées abîmées par le sel est passée de 40 millions d'hectares à plus de 62 millions d'hectares, soit une superficie équivalente à la France. (89)

#### **2. Répercussions du réchauffement climatique**

##### *i. Répercussions sur la cryosphère*

- *Fonte des glaciers et ruissellement*

En raison du changement climatique, il est attendu des modifications de la cryosphère, notamment une fonte des glaciers. Selon les scénarios d'émissions élevées, les glaciers les plus petits pourraient perdre plus de 80 % de leur masse d'ici 2100. (87) Le dernier rapport du GIEC, rapporte une fonte des glaciers plus tôt dans l'année avec une majoration du ruissellement de neige fondue à cause du réchauffement de l'atmosphère, avec un niveau de confiance élevé. Ainsi, il est prévu une augmentation de la quantité d'eau fondue des glaciers pendant les décennies à venir, dans de nombreuses régions. À mesure que les glaciers rétrécissent, le ruissellement annuel des glaciers

augmente généralement jusqu'à un maximum, suivi par une diminution du ruissellement, faute de glaciers. Il a été prouvé que ce maximum a déjà été atteint dans certaines régions, notamment celle avec de petits glaciers comme les régions de basses altitudes des Andes ou les Alpes Suisses. Ce pic devrait être atteint avant ou aux alentours de la moitié du siècle pour d'autres régions comme les hautes montagnes d'Asie. Les glaciers réagissant plus rapidement au changement climatique que le permafrost, le ruissellement dans certaines régions montagneuses pourraient augmenter également par le dégel de ce dernier. (90)

- *Qualité de l'eau*

La fonte des glaciers et du permafrost va également avoir une répercussion sur la qualité de l'eau en libérant des particules polluantes qui étaient jusqu'à présent piégées dans la cryosphère. Dans l'Himalaya, certains métaux lourds comme le mercure sont une source d'inquiétude avec une libération par les glaciers estimée à 2,5 tonnes au travers du plateau tibétain au cours des 40 dernières années. (90)

Le carbone organique dissous (COD), valeur quantitative qui regroupe une multitude de composés organiques et des significations physico-chimiques ou écologiques différentes, est utilisé comme marqueur de la pollution d'écosystème. Il est amené à augmenter également. De plus, une élévation anormale du taux de COD influe sur la concentration en oxygène dans l'eau. En effet, les composés organiques tendent à être oxydés par l'oxygène dissous dans l'eau ou à être dégradés biologiquement par les micro-organismes présents dans l'eau, lesquels vont se multiplier et consommer l'oxygène de l'eau. Cela aura pour conséquence une diminution de l'oxygène dans l'eau. (90) Ces phénomènes sont plus marqués au niveau des glaciers qui sont soumis à des charges polluantes importantes telles que les hautes montagnes d'Asie et d'Europe. (90)

- *Instabilité des pentes*

Enfin, le retrait des glaciers et le dégel du pergélisol diminuent la stabilité des pentes des montagnes, suite aux débris laissés par le retrait des glaciers, et modifient la structure des sols par la fonte de la glace du pergélisol qui jouait un rôle de « ciment ». (90) Les roches qui se détachent et tombent des pentes abruptes peuvent entraîner des chutes de roches, de débris et des glissements de terrain. (87)

Selon le dernier rapport du GIEC, il y a une forte confiance dans le fait que la fréquence des chutes de roches ait augmenté dans les zones de dégradation du pergélisol au cours du dernier demi-siècle comme dans les hautes montagnes d'Amérique du Nord, de Nouvelle-Zélande et d'Europe. Néanmoins, il manque des statistiques solides sur les tendances actuelles de ces phénomènes. (90)

## ii. Répercussions sur les océans

### • Acidification

Entre 1970 et 2011, la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère s'est majorée de près de 40 %. (91) Près de 25 % du dioxyde de carbone dans l'atmosphère d'origine anthropique sont absorbés par l'océan mais cela se traduit par une augmentation de son acidité. Le pH moyen était de 8,2 en surface dans la période préindustrielle. Actuellement, il est de 8,1, soit une diminution de 0,1 ce qui équivaut à +30% d'acidité selon Jean-Pierre Gattuso, directeur de recherche CNRS au laboratoire d'océanographie de Villefranche. (92) Le service marin de Copernicus a montré une baisse du pH des océans, soit une hausse de l'acidité des océans avec un pH de surface qui diminue à un rythme moyen de  $0.0017 \pm 0.0002$  par an (Fig 5). Différentes causes ont été identifiées pour expliquer ce phénomène mais l'origine anthropique reste la principale. (93)

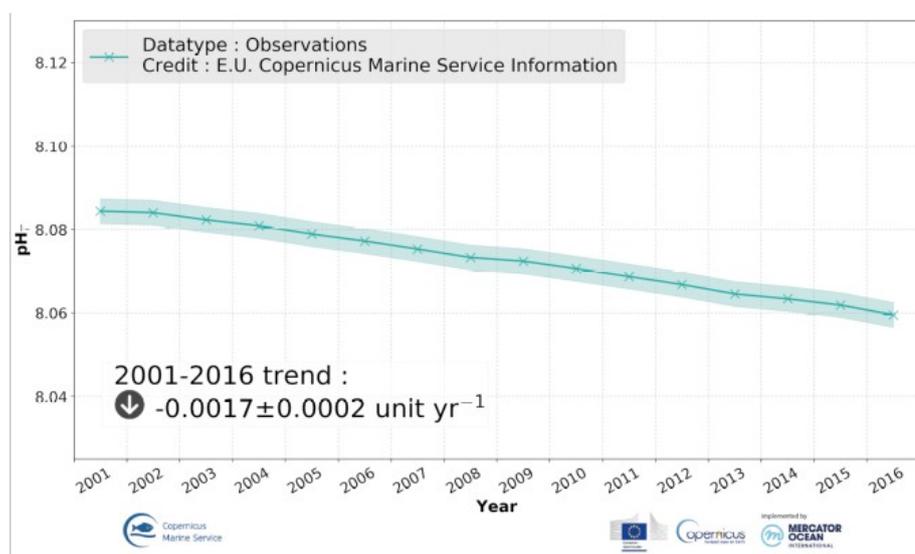


Figure 7 - *pH moyen annuel de l'eau de surface des océans*. Source : service marin de Copernicus

L'acidification de l'océan s'explique essentiellement par la perturbation du cycle du carbone et, en moindre proportion, par la perturbation du cycle de l'azote, qui, en se dissolvant dans l'océan, a des propriétés acidifiantes, phénomène particulièrement observé près des littoraux. Il a été montré que l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> se traduisait également par une augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> à la surface des océans permettant ainsi au CO<sub>2</sub> de se dissoudre dans les eaux. Cette dissolution se traduit par une augmentation de la concentration en ion H<sup>+</sup> dans les océans suite à une réaction entre l'eau (H<sub>2</sub>O) et le CO<sub>2</sub> créant ainsi l'acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). C'est ce dernier qui va former l'ion hydrogène ainsi que d'autres types de carbone inorganique dissous tels que le bicarbonate HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et l'ion carbonate CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. (94)

Il est prévu que l'étendue de l'acidification des océans variera selon les régions et les saisons. (91) Pour le GIEC, il est fort probable que l'acidité des océans continue de se majorer avec

l'augmentation actuelle du taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Il est évoqué une possible diminution du pH des eaux du globe de 8,14 actuellement à 7,8 d'ici la fin du siècle.

- *Désoxygénation*

La perte d'oxygène dans les océans est attribuée à deux causes principales que sont l'eutrophisation (due au ruissellement des nutriments provenant des zones continentales et aux dépôts d'azote provenant de l'utilisation de combustibles fossiles) et le réchauffement des eaux océaniques qui entraîne une altération des échanges gazeux avec l'atmosphère sus-jacente et une réduction de la capacité à retenir l'oxygène soluble.

Selon un rapport de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), la désoxygénation de l'océan se produit à toutes les profondeurs en raison de la plus faible solubilité de l'oxygène dans les eaux plus chaudes, d'une stratification verticale plus forte (gradient de température plus prononcé) empêchant la diffusion de l'oxygène de la surface vers les profondeurs océaniques et d'une circulation plus lente en profondeur qui réduit l'apport d'oxygène vers les eaux profondes. En parallèle, l'eutrophisation favorise la prolifération d'algues, l'augmentation de la demande d'oxygène, le développement de centaines de zones côtières hypoxiques (mortes) et l'intensification des zones naturellement à faible teneur en oxygène. (95)

Ainsi, il est estimé que le taux mondial d'oxygène dans les océans a diminué d'environ 2% entre 1960 et 2010 et les simulations des modèles océaniques prévoient une baisse supplémentaire de 1 à 7% du taux d'oxygène dissous dans les océans mondiaux d'ici 2100 quels que soient les scénarios. (91,95) Il est également observé que les différentes eaux de la planète ne sont pas affectées par ce phénomène de manière uniforme. Il est supposé par exemple une désoxygénation des eaux côtières dix fois plus rapide qu'en haute mer mais les données sont encore insuffisantes, et les différents océans ne seraient pas atteints de la même manière, en particulier le sud de l'Océan Indien et le Sud du Pacifique comme le montre la carte ci-dessous (Fig. 6). (91)

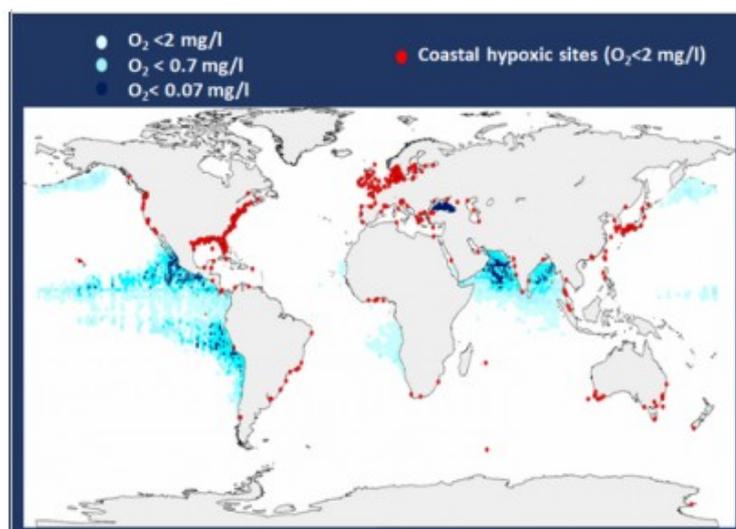


Figure 8: *Cartographie des zones côtières hypoxiques. Zones hypoxique à 300 mètres de profondeur en points rouges et zones avec minimum d'oxygène en dégradé de bleu. Source : Science 05 Jan 2018:Vol. 359*

Selon le GIEC, il existe, avec un niveau de confiance modéré, une expansion des zones suboxiques qui seraient bénéfiques aux micro-organismes anaérobies et délétères pour les espèces oxygénodépendantes.

- *Vagues de chaleur*

L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), lors de sa déclaration sur l'état du climat mondial en 2019, déclare que la température globale des océans dans les couches supérieures a doublé en quinze ans par rapport à l'ensemble des soixante dernières années. Le contenu thermique des océans ou OHC (Ocean Heat Content) est un indicateur pour l'accumulation de chaleur dans le système Terre. Il a été observé que ses composantes ont augmenté en 2019, dépassant ou égalant les records de 2018. (96)

Les vagues de chaleur marine (Marine heatwave ou MHW) sont définies par le fait que la température de la surface de la mer dépasse le 90<sup>ème</sup> percentile de la distribution climatologique, pendant au moins 5 jours, soit une température anormalement élevée par rapport à la normale. En 2019, le nombre de jours MHW moyennés sur l'océan global atteint près de 55 jours/pixel soit près de 2 mois de températures anormalement hautes, dont 41 % de la surface des océans a connu une vague de chaleur définie comme forte et 29 % comme modérée. Au final c'est près de 84 % de la surface des océans qui a connu au moins une vague de chaleur en 2019. (96)

Selon le GIEC, dans leur rapport spécial sur l'océan et la cryosphère, la fréquence des vagues de chaleur, leur durée, leur étendue et leur intensité devraient encore augmenter. Elles seront 20 fois plus fréquentes si le réchauffement est de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et 50 fois plus fréquentes si les émissions continuent d'augmenter fortement. (90) Ces anomalies de

température de surface de l'océan ont une influence directe sur la circulation des courants océaniques et atmosphériques ainsi que des conséquences sur la vie marine et la biodiversité. (96)

### *iii. Montée des eaux*

Un des nombreux impacts du changement climatique est l'élévation du niveau des mers. Ce phénomène s'accélère selon le GIEC et il devrait se poursuivre pendant des siècles. Cette hausse est maintenant irréversible à moyen terme et pourrait atteindre 30 à 60 cm environ d'ici 2100 dans les meilleurs scénarios et bien plus (jusqu'à 2 mètres) si nos émissions continuent d'augmenter fortement. Actuellement, cette hausse est d'environ 3,6 mm par an, soit deux fois plus rapide qu'au siècle dernier et continue de s'accélérer. (90)

Comme l'explique la NASA, la montée des eaux s'explique essentiellement par deux mécanismes liés au réchauffement du climat : la dilatation thermique et la fonte des glaces présentes sur la couche terrestre. (97) La fonte des glaces terrestres engendre la transformation de l'eau de l'état solide (glace) à l'état liquide dans les mers et océans. Quant à la dilatation thermique, ce phénomène s'explique par le fait que les molécules d'eau soumises à la chaleur ont tendance à s'agiter et à s'éloigner les unes des autres augmentant ainsi le volume qu'elles occupent. (91,97) Ces phénomènes sont maintenant irréversibles, et vont se poursuivre pendant plusieurs centaines d'années, car le réchauffement de l'atmosphère met des dizaines d'années avant d'atteindre le fond des océans, d'autant plus que des phénomènes thermiques sont capables d'entretenir la montée du niveau de ces derniers.

Il existe des variabilités régionales sur l'élévation du niveau de la mer. Dans le Pacifique, par exemple, des études ont montré que dans le bassin chaud de l'océan Pacifique occidental, les taux d'élévation du niveau de la mer sont jusqu'à trois fois plus élevés que la moyenne mondiale tandis qu'au niveau de l'océan Pacifique équatorial oriental, le niveau a diminué de 10 mm par an. Néanmoins, il est certain que le niveau global des mers et océans va augmenter quels que soient les scénarios (niveau de confiance élevé). (91)

### *iv. Salinisation*

La salinisation des sols à travers le monde concerne aussi bien les terres intérieures, conséquence essentielle des activités humaines (perte de la végétation, irrigation intensive, régularisation des cours d'eau, exploitation minière et extraction, et sels de déglacage), que les terres côtières qui sont également directement impactées par les activités humaines et indirectement via le changement climatique. (98)

La montée des eaux, décrit précédemment, via l'intrusion d'eau salée dans les eaux de surface et les eaux souterraines est en partie responsable de la salinisation des sols. Dans le premier cas, cela s'explique par une modification des gradients hydrologiques qui poussent davantage l'eau

de mer à l'intérieur des terres. (98) Dans le deuxième cas, c'est l'intrusion d'eau salée dans l'aquifère (corps de roches perméables comportant une zone saturée conductrice d'eau souterraine) qui va contaminer l'eau souterraine d'eau douce qui alimente le réseau local. (99,100)

Un deuxième mécanisme responsable de la salinisation est la réduction des débits fluviaux d'eau douce débouchant dans les baies côtières ou les estuaires. Cela modifie également les gradients hydrologiques, permettant à l'eau salée de pénétrer plus en amont, majorant dans certaines zones cet effet déjà présent par la montée des eaux. La diminution du débit peut être due aux activités anthropiques mais également reliée aux sécheresses ou aux modifications des précipitations en terme d'intensité et de périodicité. (98)

Un troisième mécanisme est dû à des événements naturels type cyclones, tempêtes, hautes marées et tsunami qui déversent davantage d'eau de mer dans les eaux douces en lien avec cette dernière et en introduisent dans les zones humides qui n'ont pas de lien hydrologique permanent avec la mer. De plus, si ces phénomènes sont associés à des périodes de sécheresse ou une faible perméabilité du sol, les effets des inondations devraient durer plus longtemps. Néanmoins, dans le cas de tsunami, il a été démontré que des salinités normales peuvent être rétablies dans l'année en raison des pluies de mousson dans certaines régions, limitant ainsi les effets néfastes à une courte période de temps. (98)

Enfin, elle peut être engendrée par la sécheresse, notamment dans les bassins endoréiques où les minéraux des roches environnantes sont déposés dans le bassin et y restent lorsque l'eau qui les y avait déposés s'évapore, engendrant une salinisation des terres. Ce phénomène sera particulièrement observé dans les zones semi- arides et arides vues précédemment. (101)

Cette salinisation des sols affecte négativement la croissance des végétaux, réduit le rendement des récoltes et peut rendre les sols improductifs. Il est estimé que près de 20 % des terres irriguées produisent moins à cause du sel. Les pertes de productivité varient d'une région à l'autre de 15 % à 70 %. Au niveau économique, ces pertes de productivité et de rendement des sols dégradés sont estimées à 27 milliards de dollars par an. (89)

### **3. Conséquences sur les populations**

#### *i. La cryosphère*

- *Inondation et pénurie d'eau*

«La variation des quantités d'eau disponibles n'affectera pas seulement les populations de ces régions de haute montagne, mais aussi les communautés situées beaucoup plus en aval» a déclaré Panmao Zhai, co-président du Groupe de travail I du GIEC. En effet, la fonte des glaciers va affecter le ruissellement des rivières et donc les ressources en eau douce disponibles pour les communautés humaines dépendantes de ces rivières.

Il est évoqué avec un niveau de confiance modéré que la baisse du ruissellement devrait réduire la productivité des terrains agricoles irrigués dans certaines régions alors que dans d'autres,

les pics plus importants de ruissellement pourraient provoquer des inondations. De nombreuses crues ont été causées par ce phénomène, principalement en Amérique du Nord et dans les hautes montagnes d'Asie selon le GIEC engendrant inondations des terres agricoles et dommages des infrastructures avec les conséquences des inondations vues précédemment (*cf.* 1.3.2). (90)

- *Intoxication au mercure et autres toxiques*

La libération de contaminants toxiques, comme expliqué précédemment, dans les eaux utilisées pour l'irrigation et comme source d'eau potable est potentiellement nocive pour la santé humaine, dès à présent et *a fortiori* dans le futur, particulièrement dans l'Himalaya et les Andes. La région des hautes montagnes d'Asie est considérée comme étant le plus grand réservoir au monde de glaciers pérennes et de neige en dehors des calottes polaires. Ces eaux d'amont soutiennent plus d'un milliard de personnes, et les changements dans ces montagnes affectent les services écosystémiques, l'agriculture, les moyens de subsistance des populations,... (101)

Le méthylmercure, par exemple, peut s'incorporer dans les réseaux trophiques aquatiques des cours d'eau et des glaciers, se bioamplifier dans la chaîne alimentaire et finir par être consommé par l'homme, ce à quoi il faut ajouter la consommation d'eau dont les critères de qualité ne sont plus respectés. Enfin, une forte concentration de COD peut réduire la concentration en dioxygène dans les milieux aquatiques et affecter la biodiversité de ceux-ci avec des répercussions possibles sur les populations locales. (101)

- *Traumatologie par glissement de terrain et chute de pierre*

Les conséquences de l'instabilité des pentes dans les régions montagneuses sont de deux ordres. D'une part, on recense les dégâts structurels ; d'autre part, on constate les répercussions sur les êtres vivants avec les décès et les lésions traumatiques des êtres humains et des animaux. (102)

ii. *Modifications des écosystèmes et diminution de la productivité primaire nette (NPP)*

Il a été prouvé que les effets du changement climatique provoquent des modifications dans les caractéristiques physiques et chimiques des habitats et altèrent les réseaux alimentaires et ce, dès à présent (Fig. 7). (103) Il y a un niveau de confiance élevé dans le fait que les effets combinés de l'augmentation de la température, de l'hypoxie et de l'acidification des océans ont des impacts importants sur les organismes tels que le corail ou le varech, modifiant ainsi radicalement les écosystèmes en réduisant la qualité et l'étendue des habitats. Il est estimé fort probable que les distributions et les phénologies des aires de répartition des espèces seront affectées par ces changements, altérant ainsi les interactions trophiques et ce, de manière irréversible dans certains cas. (91)

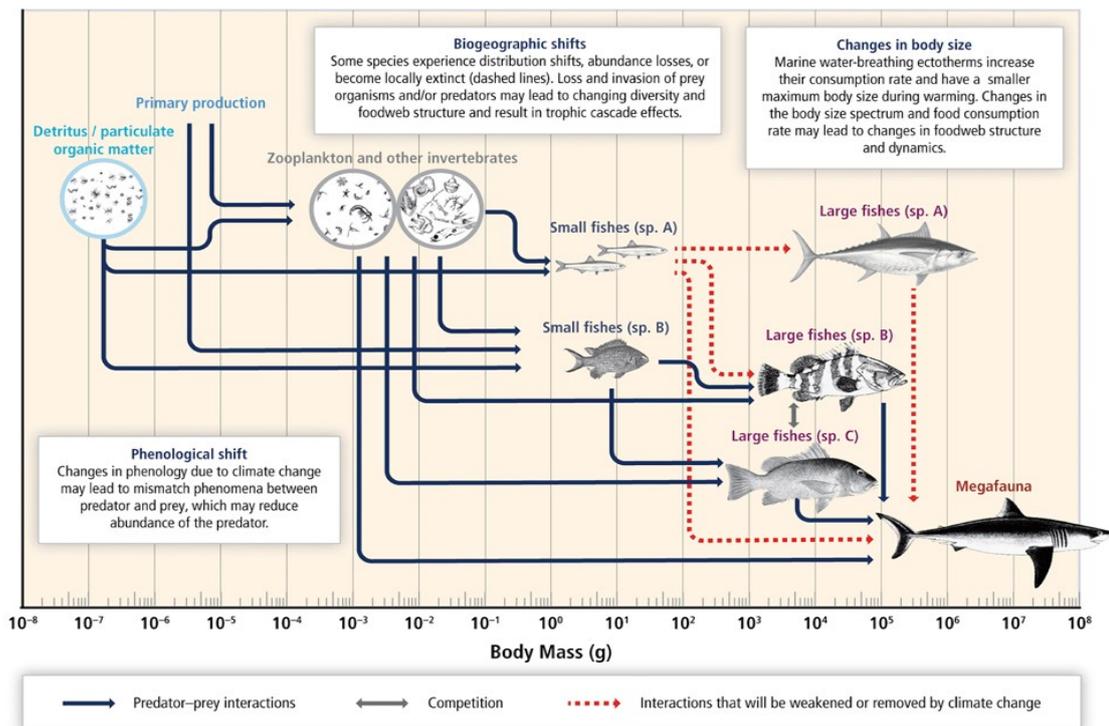


Figure 9 - **Diagramme schématisique des réponses attendues au changement climatique dans un réseau trophique marin.** Un réseau trophique pélagique et benthique couplé est structuré par le spectre de taille corporelle des espèces. Le réchauffement des eaux combiné à l'hypoxie et à l'acidification des océans réduit la taille corporelle, modifie la biogéographie, la composition et l'abondance des espèces et reconfigure les liens trophiques et la dynamique des interactions. La pêche élimine généralement les espèces les plus grosses et tronque ainsi le spectre de taille corporelle de la communauté engendrant une confusion dans la détection et l'attribution des réponses du réseau trophique au changement climatique.

De récentes études ont prédit une réduction globale de la biomasse du phytoplancton et du zooplancton de 6 et 11%, respectivement, avec une amplification tropique négative des effets du changement climatique pour 47% de l'océan. Une étude portant sur l'écosystème du plateau néo-écossais a révélé que les effets des changements climatiques pourraient entraîner une réduction de la biomasse de 19 à 29% d'ici 2100 dans le cadre du RCP8.5. (91)

Il a également été mis en évidence l'effet du réchauffement des océans sur la répartition géographique des organismes avec une migration vers les pôles des espèces. La température affecte déjà les événements du cycle biologique tels que la reproduction et la migration, et a provoqué des changements de régime irréversibles dans les récifs coralliens d'eau chaude et les écosystèmes arctiques. La productivité primaire nette (NPP) devrait diminuer modérément d'ici 2100 en haute mer quels que soient les scénarios, avec en parallèle, une augmentation de la NPP aux hautes latitudes et une diminution sous les tropiques. (91) Selon le GIEC, les changements dans la répartition des populations de poissons ont réduit le potentiel de capture global et ce dernier devrait continuer de décroître dans certaines régions, en particulier les océans tropicaux, mais devrait

augmenter dans d'autres comme en Arctique. La santé nutritionnelle et la sécurité alimentaire des communautés qui dépendent fortement des produits de la mer peuvent s'en trouver menacées. (90)

Enfin, selon l'organisation météorologique mondiale, les vagues de chaleur *via* les anomalies de température de surface de l'océan ont une influence directe sur les circulations des courants océaniques et atmosphériques avec des répercussions sur les cyclones. Ces derniers voient leur intensité majorée et connaissent une extension extratropicale de leur activité à nos latitudes tempérées (*cf* 1.2.2).

### *iii. Inondations et désertification des terres*

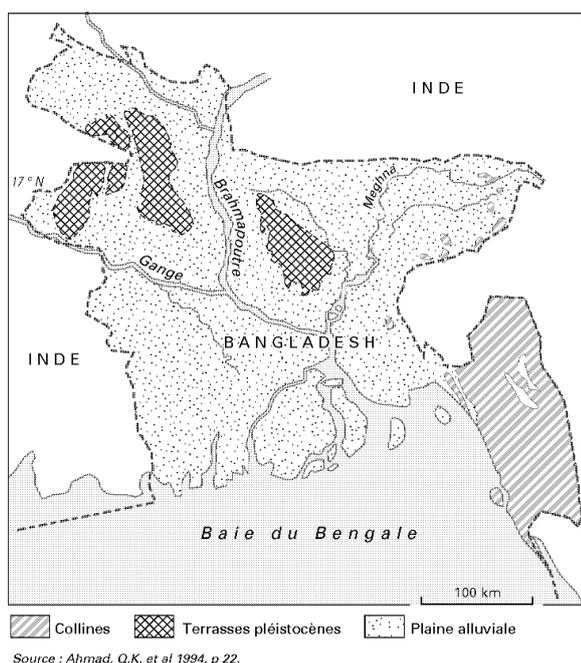
L'élévation du niveau de la mer va être responsable de plus grandes inondations lors des tempêtes et cyclones et lors des grandes marées. Les conséquences, déjà évoquées dans la partie 1.3.2.3, auxquelles seront confrontées de nombreuses villes côtières et petites îles de faible élévation, vont ainsi s'accroître en terme d'intensité et de fréquence. Or, près de 20 % de la population mondiale vivent à moins de 30 km des côtes, pour beaucoup dans des métropoles côtières. Selon l'estimation la plus précise disponible, au moins 300 millions de personnes dans le monde seront affectées par des inondations marines permanentes ou temporaires et certains états insulaires deviendront inhabitables mais les seuils d'habitabilité demeurent très difficiles à évaluer. (87)

La montée des eaux sera également en partie responsable d'une désertification des terre *via* la salinisation avec des conséquences sur la végétation et une diminution des rendements agricoles (*cf* 1.3.2.4).

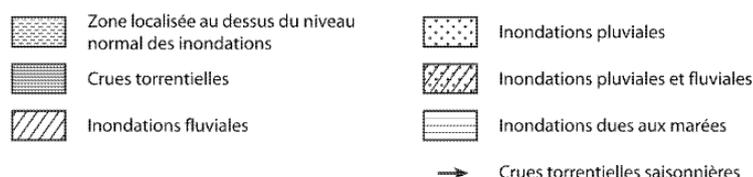
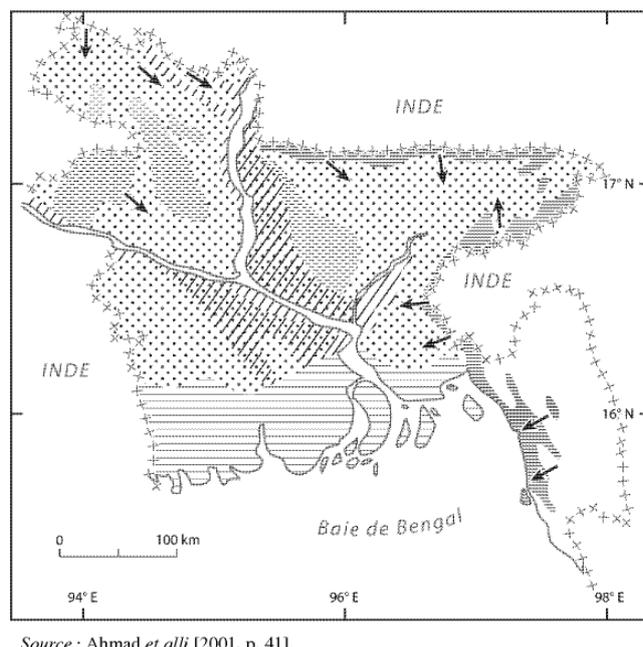
### *iv. Exemples*

Le Bangladesh n'est pas appelé le « pays de l'eau » sans raison. C'est un pays plat, dont les deux-tiers se trouvent à moins de cinq mètres au-dessus du niveau de la mer. Il est bordé au sud par l'océan Indien, reçoit les eaux de l'Himalaya par le nord et héberge au centre-sud trois grands fleuves qui forment un delta : le Gange, le Brahmapoutre et le Meghna (Fig. 8).

C'est en partie en raison de ces particularités que le pays est considéré comme étant l'un des pays les plus vulnérables au changement climatique. Le pays est particulièrement sujet aux phénomènes de crues (Fig. 9), qui ne cessent de s'amplifier au cours des années, s'accompagnant d'une dégradation des terres par salinisation et d'une altération de la qualité de l'eau pouvant être nuisible à l'Homme et aux espèces végétales et animales. (104,105) De plus, avec l'élévation du niveau de la mer, l'eau saline pourrait pénétrer jusqu'à 50 km dans les terres, avec les conséquences désastreuses vues précédemment. (12)



**Figure 10 - Les régions géographiques du Bangladesh**



**Figure 11 - Distribution spatiale des différents types d'inondation au Bangladesh**

Les inondations touchant le pays ont pour principale cause la montée des eaux, en amont des bassins, provoquée par les fortes pluies de mousson qui se déversent sur l'Himalaya, les plaines d'Assam (s'étendant sur les contreforts de l'Himalaya), les collines de Tripura en Inde, et les plaines d'inondation en amont du Brahmapoutre et du Gange avant qu'ils ne pénètrent au Bangladesh. Les crues, nourries par des écoulements importants qui dévalent de l'amont, inondent les berges bien au-delà des plaines d'inondation. Avec le réchauffement climatique, il est attendu des pluies et des inondations de plus en plus intenses, longues et fréquentes par la crue de ces fleuves dont le débit est déjà majoré par la fonte des glaciers de l'Himalaya. Il a déjà été observé une accélération de la fréquence d'inondations catastrophiques depuis les années 1950. (104,105) Les ondes de tempête (rehaussement important du niveau de la mer sur le littoral causé par les vents d'une importante dépression), quant à elles, associées aux typhons, génèrent une montée des eaux sur le littoral et peuvent facilement se propager jusqu'à des zones éloignées des côtes. Les eaux salines transportées par celles-ci affectent l'agriculture et l'élevage, ainsi que la santé des populations. Le risque de typhon, plus virulent, comme vu précédemment, pourrait majorer ces phénomènes. (104)

Ainsi, selon l'ONU, le Bangladesh pourrait être confronté à près de 50 à 60 millions de déplacés climatiques (soit un tiers de sa population) d'ici 2050. Selon une étude publiée en 2018

dans le *Journal of Hydrologic Engineering*, avec une augmentation des températures moyennes de 2°C supplémentaires, les inondations augmenteraient respectivement de 29 %, 24 % et 38 % à cause du Gange, du Brahmapoutre et du Meghna et de 54 %, 63 % et 81 % pour une augmentation des températures à 4°C qui est la tendance actuelle. (106)

## Index des figures

Figure 1: Évaluation de la vulnérabilité du secteur de la pêche au changement climatique pour le centre-ouest de l'Atlantique sur la base de 35 indicateurs. ....	5
Figure 2 - Principaux mécanismes d'action des particules fines sur la santé.....	12
Figure 3 - Distribution géographique des terres arides, délimitée selon l'indice d'aridité (IA).....	18
Figure 4 - Représentation des futures modifications de l'index d'aridité (IA) sur une période de 30 ans.....	20
Figure 5- Schéma des principales voies par lesquelles la désertification et le changement climatique interagissent.....	22
Figure 6- Image satellitaire <i>montrant une</i> plaine inondable recouvrant une surface de 125 km sur 25 km.....	28
Figure 7 - pH moyen annuel de l'eau de surface des océans.....	32
Figure 8: Cartographie des zones côtières hypoxiques.....	34
Figure 9 - Diagramme schématique des réponses attendues au changement climatique dans un réseau trophique marin.....	38
Figure 10 - Les régions géographiques du Bangladesh.....	40
Figure 11 - Distribution spatiale des différents types d'inondation au Bangladesh.....	40

## Index des tableaux

Tableau 1: Conditions climatiques et leurs impacts sur le vecteur ( <i>Aedes spp</i> ) et les agents pathogènes (arbovirus) présents au Brésil.....	6
---	---

## Bibliographie

1. Encyclopédie Larousse en ligne - sécurité alimentaire [Internet]. [cited 2020 Apr 7]. Available from: [https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/sécurité\\_alimentaire/19930](https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/sécurité_alimentaire/19930)
2. OMS | Qu'est-ce que la malnutrition? [Internet]. [cited 2020 Apr 13]. Available from: <https://www.who.int/features/qa/malnutrition/fr/>
3. Ralentissements LES, Les ET. L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2019. L'État la sécurité Aliment la Nutr dans le monde 2019. 2019;
4. Le changement climatique, moteur de la faim dans le monde, alerte l'ONU | CCNUCC [Internet]. [cited 2020 Apr 11]. Available from: <https://unfccc.int/fr/news/le-changement-climatique-moteur-de-la-faim-dans-le-monde-alerte-l-onu>
5. Leeprakton LI TP, Berger F, van Aarde R, World Alumina A, Morris JP, Brainich A, et al. THE ASSESSMENT REPORT ON LAND DEGRADATION AND RESTORATION 2 THE IPBES ASSESSMENT REPORT ON LAND DEGRADATION AND RESTORATION Disclaimer on maps Photo credits Technical Support Graphic Design MEMBERS OF THE MANAGEMENT COMMITTEE WHO PROVIDED GUIDANCE FOR THE PRODUCTION OF THIS ASSESSMENT [Internet]. Vol. 744, Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 2018. Available from: [www.ipbes.net](http://www.ipbes.net)
6. Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Boykoff M, et al. The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. Vol. 394, The Lancet. Lancet Publishing Group; 2019. p. 1836–78.
7. Dinu V. Food security. *Amfiteatru Econ.* 2019;21(51):281–3.
8. Medek DE, Schwartz J, Myers SS. Estimated Effects of Future Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentrations on Protein Intake and the Risk of Protein Deficiency by Country and Region. *Environ Health Perspect* [Internet]. 2017 Aug 16 [cited 2020 Apr 10];125(8):087002. Available from: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/EHP41>
9. Smith MR, Golden CD, Myers SS. Potential rise in iron deficiency due to future anthropogenic carbon dioxide emissions. *GeoHealth.* 2017 Aug 1;1(6):248–57.
10. ONF - L'ozone et la forêt [Internet]. [cited 2020 Apr 11]. Available from: [http://www1.onf.fr/renecofor/sommaire/resultats/alimentation\\_pollution/ozone/20090127-160128-69949/@@index.html](http://www1.onf.fr/renecofor/sommaire/resultats/alimentation_pollution/ozone/20090127-160128-69949/@@index.html)
11. Sicard P, Anav A, De Marco A, Paoletti E. Projected global ground-level ozone impacts on vegetation under different emission and climate scenarios. *Atmos Chem Phys.* 2017;17(19):12177–96.
12. Holsman K, Hollowed A, Ito S, Bograd S, Hazen E, King J, et al. Climate change impacts, vulnerabilities and adaptations: North Pacific and Pacific Arctic marine fisheries. Vol. 627, *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options.* 2018. 113–138 p.

13. Cavicchioli R, Ripple WJ, Timmis KN, Azam F, Bakken LR, Baylis M, et al. Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. Vol. 17, *Nature Reviews Microbiology*. Nature Publishing Group; 2019. p. 569–86.
14. Leal Filho W, Bönecke J, Spielmann H, Azeiteiro UM, Alves F, Lopes de Carvalho M, et al. Climate change and health: An analysis of causal relations on the spread of vector-borne diseases in Brazil. *J Clean Prod*. 2018 Mar 10;177:589–96.
15. Everett L. Board on Life Sciences Division on Earth and Life Studies Board on Global Health Health and Medicine Division In collaboration with the InterAcademy Partnership and the European Academies Science Advisory Council.
16. Caminade C, Turner J, Metelmann S, Hesson JC, Blagrove MSC, Solomon T, et al. Global risk model for vector-borne transmission of Zika virus reveals the role of El Niño 2015. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2017 Jan 3;114(1):119–24.
17. Proestos Y, Christophides GK, Ergüler K, Tanarhte M, Waldock J, Lelieveld J. Present and future projections of habitat suitability of the Asian tiger mosquito, a vector of viral pathogens, from global climate simulation. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2015;370(1665):1–16.
18. Wu X, Lu Y, Zhou S, Chen L, Xu B. Impact of climate change on human infectious diseases : Empirical evidence and human adaptation Impact of climate change on human infectious diseases : Empirical evidence and human adaptation. *Environ Int* [Internet]. 2015;86(October):14–23. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.007>
19. Fischer D, Thomas SM, Suk JE, Sudre B, Hess A, Tjaden NB, et al. Climate change effects on chikungunya transmission in europe: Geospatial analysis of vector's climatic suitability and virus' temperature requirements. *Int J Health Geogr* [Internet]. 2013 Nov 12 [cited 2020 Apr 10];12(1):51. Available from: <http://ij-healthgeographics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-072X-12-51>
20. Vector-borne diseases [Internet]. [cited 2020 Apr 10]. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/climate-change/climate-change-europe/vector-borne-diseases>
21. Towers S, Chowell G, Hameed R, Jastrebski M, Khan M, Meeks J, et al. Climate change and influenza: The likelihood of early and severe influenza seasons following warmer than average winters. *PLoS Curr*. 2013;5(JAN):1–8.
22. Liu Q, Tan Z-M, Sun J, Hou Y, Fu C, Wu Z. Changing rapid weather variability increases influenza epidemic risk in a warming climate. *Environ Res Lett*. 2020;15(4):044004.
23. Magnan A. Special issue - Identify and monitor health impacts of climate change in the context of adaptation Editorial Editor ' s note. 2012;13(March).
24. Legendre M, Lartigue A, Bertaux L, Jeudy S, Bartoli J, Lescot M, et al. In-depth study of Mollivirus sibiricum, a new 30,000-yold giant virus infecting Acanthamoeba. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2015;112(38):E5327–35.
25. Choléra [Internet]. [cited 2020 Apr 10]. Available from: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/cholera>

26. Bouchard C, Dibernardo A, Koffi J, Wood H, Leighton P, Lindsay L. Increased risk of tick-borne diseases with climate and environmental changes. *Canada Commun Dis Rep.* 2019;45(4):83–9.
27. MacFadden DR, McGough SF, Fisman D, Santillana M, Brownstein JS. Antibiotic resistance increases with local temperature. *Nat Clim Chang [Internet].* 2018;8(6):510–4. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-018-0161-6>
28. El-Sayed A, Kamel M. Climatic changes and their role in emergence and re-emergence of diseases. *Environ Sci Pollut Res.* 2020;27(18):22336–52.
29. Besancenot JP. Maladies infectieuses et climat. *Med Mal Infect.* 2007;37(SUPPL. 1).
30. Nations U. Climate Change and Malaria - A Complex Relationship | United Nations.
31. Caminade C, Kovats S, Rocklov J, Tompkins AM, Morse AP, Colón-González FJ, et al. Impact of climate change on global malaria distribution. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2014 Mar 4;111(9):3286–91.
32. Encuentros L. profile of Honduras. :1400–2.
33. Yang GJ, Bergquist R. Potential impact of climate change on schistosomiasis: A global assessment attempt. *Trop Med Infect Dis.* 2018 Nov 3;3(4).
34. Britton E, Hales S, Venugopal K, Baker MG. The impact of climate variability and change on cryptosporidiosis and giardiasis rates in New Zealand. *J Water Health.* 2010 Sep 1;8(3):561–71.
35. Squire SA, Ryan U. Cryptosporidium and Giardia in Africa: current and future challenges. Vol. 10, *Parasites and Vectors.* BioMed Central Ltd.; 2017. p. 1–32.
36. Garcia-Solache MA, Casadevall A. Global warming will bring new fungal diseases for mammals. *MBio.* 2010 Apr 18;1(1).
37. Park BJ, Sigel K, Vaz V, Komatsu K, McRill C, Phelan M, et al. An Epidemic of Coccidioidomycosis in Arizona Associated with Climatic Changes, 1998–2001. *J Infect Dis.* 2005 Jun 1;191(11):1981–7.
38. Casadevall A. Climate change brings the specter of new infectious diseases. *J Clin Invest.* 2020;130(2):553–5.
39. Principaux repères sur la qualité de l'air [Internet]. [cited 2020 Apr 13]. Available from: [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
40. Likhvar V, Hauglustaine D, Kinney P, Colette A, Valari M, Markakis K, et al. Estimation des impacts sanitaires futurs de la pollution de l'air dans le monde, en Europe et Île-de-France : le projet A-C HIA. *La Météorologie.* 2016;8(93):23.
41. Campbell-Lendrum DH, A P-U. How much disease could climate change cause? *Clim Chang Hum Heal risks responses.* 2003;133–59.
42. De Blois J, Kjellstrom T, Agewall S, Ezekowitz JA, Armstrong PW, Atar D. The Effects of Climate Change on Cardiac Health. *Cardiol.* 2015;131(4):209–17.
43. Edwards MJ, Shiota K, Smith MSR, Walsh DA. Hyperthermia and birth defects. *Reprod Toxicol.* 1995;9(5):411–25.

44. Czeizel AE, Puhó EH, Ács N, Bánhidly F. Delineation of a multiple congenital abnormality syndrome in the offspring of pregnant women affected with high fever-related disorders: A population-based study. *Congenit Anom (Kyoto)*. 2008;48(4):158–66.
45. Trenberth KE. The Impact of Climate Change and Variability on Heavy Precipitation, Floods, and Droughts. *Encycl Hydrol Sci*. 2008;
46. Hayes RB, Lim C, Zhang Y, Cromar K, Shao Y, Reynolds HR, et al. PM2.5 air pollution and cause-specific cardiovascular disease mortality. *Int J Epidemiol*. 2019;3:1–11.
47. Silva RA, West JJ, Lamarque JF, Shindell DT, Collins WJ, Faluvegi G, et al. Future global mortality from changes in air pollution attributable to climate change. *Nat Clim Chang*. 2017 Sep 1;7(9):647–51.
48. Tempêtes de sable et de poussière | Organisation météorologique mondiale [Internet]. [cited 2020 Dec 25]. Available from: <https://public.wmo.int/fr/notre-mandat/domaines-d'action/environnement/tempetes-de-sable-et-de-poussiere>
49. OMS/Europe | Centre des médias - Maladies et mortalité : selon une nouvelle étude de l’OMS, la pollution de l’air coûte aux économies européennes 1,6 billion d’USD par an [Internet]. [cited 2020 Apr 11]. Available from: [http://www.euro.who.int/fr/media-centre/sections/press-releases/2015/04/air-pollution-costs-european-economies-us\\$-1.6-trillion-a-year-in-diseases-and-deaths,-new-who-study-says](http://www.euro.who.int/fr/media-centre/sections/press-releases/2015/04/air-pollution-costs-european-economies-us$-1.6-trillion-a-year-in-diseases-and-deaths,-new-who-study-says)
50. Impacts sanitaires de la pollution de l’air en France : nouvelles données et perspectives [Internet]. [cited 2020 Apr 13]. Available from: <https://www.santepubliquefrance.fr/presse/2016/impacts-sanitaires-de-la-pollution-de-l-air-en-france-nouvelles-donnees-et-perspectives>
51. Intoxications aux fumées d’incendie - Médecine d’urgence - Urgences médicales [Internet]. [cited 2020 Apr 11]. Available from: <https://urgences-serveur.fr/intoxications-aux-fumees-d,1948.html>
52. Stansbury JP, Ried LD, Velozo CA, Miller MA, Silva JA, Neira M, et al. BEYOND STORMS & DROUGHTS. *J Pers Assess* [Internet]. 2014;40(June):145–9. Available from: [http://www.who.int/globalchange/publications/quantitative-risk-assessment/en/%0Ahttp://www.who.int/iris/handle/10665/107925%0Ahttps://ecoamerica.org/wp-content/uploads/2014/06/eA\\_Beyond\\_Storms\\_and\\_Droughts\\_Psych\\_Impacts\\_of\\_Climate\\_Change.pdf](http://www.who.int/globalchange/publications/quantitative-risk-assessment/en/%0Ahttp://www.who.int/iris/handle/10665/107925%0Ahttps://ecoamerica.org/wp-content/uploads/2014/06/eA_Beyond_Storms_and_Droughts_Psych_Impacts_of_Climate_Change.pdf)
53. Carroll B, Morbey H, Balogh R, Araoz G. Flooded homes, broken bonds, the meaning of home, psychological processes and their impact on psychological health in a disaster. *Heal Place*. 2009;15(2):540–7.
54. Cyclone Nargis - Le traumatisme psychologique sera plus long à guérir | Médecins sans frontières [Internet]. [cited 2020 Apr 11]. Available from: <https://www.msf.fr/actualites/cyclone-nargis-le-traumatisme-psychologique-sera-plus-long-a-guerir>
55. Simpson DM, Weissbecker I, Sephton SE. Extreme Weather-Related Events: Implications for Mental Health and Well-Being. In Springer, New York, NY; 2011. p. 57–78.
56. Cyclone Idai au Mozambique, Zimbabwe et Malawi : les équipes de MSF mobilisées sur place | Médecins sans frontières [Internet]. [cited 2020 Apr 13]. Available from:

<https://www.msf.fr/actualites/cyclone-idai-au-mozambique-zimbabwe-et-malawi-les-equipes-de-msf-mobilisees-sur-place>

57. WHO. No public health without refugee and migrant health- Report on the health of refugees and migrants in the WHO European Region [Internet]. 2019. Available from: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/311347/9789289053846-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
58. IPCC. IPCC Climate Change and Land Full Report. Intergov Panel Clim Chang Spec Rep Clim Chang Desertif L Degrad Sustain L Manag Food Secur Greenh gas fluxes Terrestrial Ecosyst. 2019;
59. FAO. Foresterie en zones arides: Guide à l'intention des techniciens de terrain, Cahiers FAO Conservation n°20 [Internet]. FAO, editor. 1992 [cited 2020 Apr 6]. Available from: <http://www.fao.org/3/T0122F/T0122F00.htm>
60. La dégradation des sols dans le monde [Internet]. [cited 2020 Apr 6]. Available from: <http://unt.unice.fr/uoh/degso/>
61. (PDF) Etude de l'impact d'incendies de forêt répétés sur la biodiversité et sur les sols. Recherche d'indicateurs. Rapport final. [Internet]. [cited 2020 Apr 12]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/305699476\\_Etude\\_de\\_l'impact\\_d'incendies\\_de\\_foret\\_repetees\\_sur\\_la\\_biodiversite\\_et\\_sur\\_les\\_sols\\_Recherche\\_d'indicateurs\\_Rapport\\_final](https://www.researchgate.net/publication/305699476_Etude_de_l'impact_d'incendies_de_foret_repetees_sur_la_biodiversite_et_sur_les_sols_Recherche_d'indicateurs_Rapport_final)
62. Gray V. Climate change 2007: The physical science basis summary for policymakers. *Energy Environ.* 2007;18(3-4):433-40.
63. WAD | World Atlas of Desertification [Internet]. [cited 2020 Apr 13]. Available from: <https://wad.jrc.ec.europa.eu/aridityprojections>
64. 4\_WAD\_LimitsSustainability.
65. Thomas N, Nigam S. Twentieth-Century Climate Change over Africa: Seasonal Hydroclimate Trends and Sahara Desert Expansion. *J Clim* [Internet]. 2018 May 1 [cited 2020 Apr 6];31(9):3349-70. Available from: <http://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/JCLI-D-17-0187.1>
66. Rodriguez-Caballero E, Belnap J, Büdel B, Crutzen PJ, Andreae MO, Pöschl U, et al. Dryland photoautotrophic soil surface communities endangered by global change. *Nat Geosci* [Internet]. 2018 Mar 26 [cited 2020 Apr 6];11(3):185-9. Available from: <http://www.nature.com/articles/s41561-018-0072-1>
67. Namdari S, Karimi N, Sorooshian A, Mohammadi GH, Sehatkashani S. Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmos Environ.* 2018 Jan 1;173:265-76.
68. L'Afrique subsaharienne dans la démographie mondiale | Cairn.info [Internet]. [cited 2020 Apr 6]. Available from: <https://www.cairn.info/revue-etudes-2011-10-page-305.htm>
69. Sissakian VK, Al-Ansari N, Knutsson S. Sand and dust storm events in Iraq. *Nat Sci.* 2013;05(10):1084-94.

70. WMO supports international conference on sand and dust storms | World Meteorological Organization [Internet]. [cited 2020 Dec 12]. Available from: <https://public.wmo.int/en/media/news/wmo-supports-international-conference-sand-and-dust-storms>
71. Greer A, Ng V, Fisman D. Climate change and infectious diseases in North America: The road ahead. Vol. 178, CMAJ. Canadian Medical Association; 2008. p. 715–22.
72. 45 millions de personnes menacées par la famine en Afrique australe (PAM) | ONU Info [Internet]. [cited 2020 Dec 12]. Available from: <https://news.un.org/fr/story/2020/01/1059932>
73. Au Zimbabwe, la moitié de la population est confrontée à une grave insécurité alimentaire (PAM) | ONU Info [Internet]. [cited 2020 Dec 12]. Available from: <https://news.un.org/fr/story/2019/12/1057371>
74. Après une tempête de sable gigantesque, l’Iran lutte contre la poussière [Internet]. [cited 2020 Dec 13]. Available from: [https://www.lemonde.fr/pollution/article/2015/02/18/le-sud-ouest-de-l-iran-frappe-par-une-enorme-tempete-de-poussiere\\_4578813\\_1652666.html](https://www.lemonde.fr/pollution/article/2015/02/18/le-sud-ouest-de-l-iran-frappe-par-une-enorme-tempete-de-poussiere_4578813_1652666.html)
75. Définition des cyclones [Internet]. [cited 2020 Apr 6]. Available from: <https://www.alertes-meteo.com/cyclones/definition.htm>
76. L’impact du réchauffement climatique sur les cyclones | Réseau Action Climat [Internet]. [cited 2020 Apr 11]. Available from: <https://reseauactionclimat.org/rechauffement-climatique-cyclone/>
77. L’intensité des ouragans renforcée par le réchauffement climatique | Les Echos [Internet]. [cited 2020 Apr 11]. Available from: <https://www.lesechos.fr/monde/ameriques/lintensite-des-ouragans-renforcee-par-le-rechauffement-climatique-1128608>
78. Emanuel KA. Downscaling CMIP5 climate models shows increased tropical cyclone activity over the 21st century. Proc Natl Acad Sci U S A. 2013 Jul 23;110(30):12219–24.
79. Trenberth KE, Cheng L, Jacobs P, Zhang Y, Fasullo J. Hurricane Harvey Links to Ocean Heat Content and Climate Change Adaptation. Earth’s Futur [Internet]. 2018 May 22 [cited 2020 Apr 7];6(5):730–44. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018EF000825>
80. Sweet WV, Horton R, Kopp RE, LeGrande AN, Romanou A. Sea Level Rise - Climate Science Special Report [Internet]. Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I. 2017 [cited 2020 Apr 7]. Available from: <https://science2017.globalchange.gov/chapter/12/>
81. Hall TM, Kossin JP. Hurricane stalling along the North American coast and implications for rainfall. npj Clim Atmos Sci. 2019 Dec;2(1).
82. Schewe J, Levermann A. A statistically predictive model for future monsoon failure in India. Environ Res Lett. 2012;7(4).
83. Mozambique : témoignages de résilience dans un pays ravagé par deux cyclones | ONU Info [Internet]. [cited 2020 Apr 7]. Available from: <https://news.un.org/fr/story/2019/07/1047271>
84. Mozambique : « on a faim », c’est ce que les gens nous disent d’abord » | Médecins sans frontières [Internet]. [cited 2020 Apr 7]. Available from: <https://www.msf.fr/actualites/mozambique-on-a-faim-c-est-ce-que-les-gens-nous-disent-d-abord>

85. Mozambique : 1,2 milliard de dollars promis pour aider les régions affectées par les cyclones Idai et Kenneth | ONU Info [Internet]. [cited 2020 Apr 7]. Available from: <https://news.un.org/fr/story/2019/06/1044771>
86. Mozambique : le point sur la situation humanitaire après le passage du cyclone Idai | Médecins sans frontières [Internet]. [cited 2020 Apr 7]. Available from: <https://www.msf.fr/actualites/mozambique-le-point-sur-la-situation-humanitaire-apres-le-passage-du-cyclone-idai>
87. GIEC. Communiqué de presse du GIEC. 2019; Available from: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
88. Le permafrost - Encyclopédie de l'environnement [Internet]. [cited 2020 Apr 7]. Available from: <https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/le-permafrost/>
89. Qadir M, Quilléro E, Nangia V, Murtaza G, Singh M, Thomas RJ, et al. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Nat Resour Forum*. 2014;38(4):282–95.
90. Summary T, Session SJ, Groups W. The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. 2019; (September).
91. Howes EL, Joos F, Eakin CM, Gattuso JP. An updated synthesis of the observed and projected impacts of climate change on the chemical, physical and biological processes in the oceans. Vol. 2, *Frontiers in Marine Science*. Frontiers Media S. A; 2015. p. 36.
92. Les impacts de l'acidification des océans aggravent ceux de son réchauffement | Réseau Action Climat [Internet]. [cited 2020 Apr 7]. Available from: <https://reseauactionclimat.org/impacts-acidification-océans-aggravent-rechauffement/>
93. Jacobson MZ. Studying ocean acidification with conservative, stable numerical schemes for nonequilibrium air-ocean exchange and ocean equilibrium chemistry. *J Geophys Res* [Internet]. 2005 [cited 2020 Apr 7];110(D7):D07302. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1029/2004JD005220>
94. Raven J, Caldeira K, Elderfield H, Hoegh-Guldberg O, Liss P, Riebesell U, et al. Ocean acidification due to increasing. *Coral Reefs* [Internet]. 2005;12/05(June):68. Available from: [http://eprints.ifm-geomar.de/7878/1/965\\_Raven\\_2005\\_OceanAcidificationDueToIncreasing\\_Monogr\\_pubid13120.pdf](http://eprints.ifm-geomar.de/7878/1/965_Raven_2005_OceanAcidificationDueToIncreasing_Monogr_pubid13120.pdf)
95. Nations U. Désoxygénation des océans : le problème de chacun décideurs.
96. Meteorological W, Wmo O. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019. 2019.
97. Overview | Understanding Sea Level – NASA Sea Level Change Portal [Internet]. [cited 2020 Apr 13]. Available from: <https://sealevel.nasa.gov/understanding-sea-level/overview>
98. Herbert ER, Boon P, Burgin AJ, Neubauer SC, Franklin RB, Ardón M, et al. A global perspective on wetland salinization: ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere* [Internet]. 2015 Oct 1 [cited 2020 Apr 7];6(10):art206. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1890/ES14-00534.1>
99. Global Change and River Ecosystems - Implications for Structure, Function and Ecosystem Services | R. Jan Stevenson | Springer [Internet]. [cited 2020 Apr 13]. Available from: <https://www.springer.com/gp/book/9789400706071>

100. Wood C, Harrington GA. Influence of Seasonal Variations in Sea Level on the Salinity Regime of a Coastal Groundwater-Fed Wetland. *Groundwater*. 2015;53(1):90–8.
101. Changement L, Et C. Le Changement CLimatique et L'eau Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
102. Evans SG. Characterizing landslide risk in Canada. *Geohazards*. 2003;(September 1944):19–34.
103. IPCC. Climate Change 2014 Part A: Global and Sectoral Aspects [Internet]. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2014. 1132 p. Available from: [papers2://publication/uuid/B8BF5043-C873-4AFD-97F9-A630782E590D](https://www.ipcc.ch/publication/uuid/B8BF5043-C873-4AFD-97F9-A630782E590D)
104. et gestion des crues : le cas du Bangladesh. 2006;
105. Khairuzzaman MQ. No Title 血清及尿液特定蛋白检测在糖尿病肾病早期诊断中的意义. 2016;4(1):64–75.
106. Mohammed K, Islam AKMS, Islam GMT, Alfieri L, Khan MJU, Bala SK, et al. Future Floods in Bangladesh under 1.5°C, 2°C, and 4°C Global Warming Scenarios. *J Hydrol Eng*. 2018 Dec 17;23(12):04018050.

NOM : BUISSART

PRENOM : Charlotte

**Titre de Thèse : RÉPERCUSSIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ EN MÉDECINE HUMANITAIRE**

-----  
**RESUME (10 lignes)**

- Le changement climatique est un enjeu d'actualité. Les principaux acteurs impactés
- sont les pays en voies de développement, notamment les populations les plus
- vulnérables. Le domaine de la santé ne fait pas exception et le secteur de
- l'humanitaire devra faire face à ces nouveaux défis. Il est prédit, avec une certaine
- marge d'incertitude, des répercussions sur la santé nutritionnelle, avec un impact
- notable sur la quantité et la qualité des aliments, mais également sur les maladies
- infectieuses, les pathologies cardio-respiratoires, les troubles psychiques ainsi que
- sur la traumatologie,... La désorganisation du système de soin et du système
- communautaire diminuera les capacités adaptatives des sociétés à faire face à ces
- changements.

-----  
**MOTS-CLES**

Changement climatique, malnutrition, infection, maladies cardio-respiratoires, troubles psychologiques, pollution, système de soin, hausse des températures, réchauffement climatique, virus, bactéries, champignons, parasites, BPCO, cardiopathie ischémique, dénutrition, allergies, asthme, stress, anxiété, dépression, traumatologie, migration