



Note d'analyse n°6

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'EXTENSION GEOGRAPHIQUE DES RISQUES SANITAIRES

Septembre 2020



Le ministère des Armées fait régulièrement appel à des études externalisées auprès d'instituts de recherche privés, selon une approche géographique ou sectorielle, visant à compléter son expertise interne. Ces relations contractuelles s'inscrivent dans le développement de la démarche prospective de défense qui, comme le souligne le dernier Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale, « *doit pouvoir s'appuyer sur une réflexion stratégique indépendante, pluridisciplinaire, originale, intégrant la recherche universitaire comme celle des instituts spécialisés* ».

Une grande partie de ces études sont rendues publiques et mises à disposition sur le site du ministère des Armées. Dans le cas d'une étude publiée de manière parcellaire, la Direction générale des relations internationales et de la stratégie peut être contactée pour plus d'informations.

AVERTISSEMENT : Les propos énoncés dans les études et observatoires ne sauraient engager la responsabilité de la Direction générale des relations internationales et de la stratégie ou de l'organisme pilote de l'étude, pas plus qu'ils ne reflètent une prise de position officielle du ministère des Armées.

A PROPOS DES AUTEURS

Elisande Nexon

Elisande Nexon est maître de recherche à la Fondation pour la recherche stratégique (FRS). Ses principaux sujets de recherche sont les enjeux de santé publique liés à la défense et à la sécurité, la gestion des crises résultant d'évènements biologiques ou chimiques, ainsi que les menaces et la non-prolifération biologiques et chimiques. Elle coordonne le module Géopolitique et Géostratégie du Master Risques de santé publique NRBCe (Ecole de médecine militaire du Val-de-Grâce et Commission française des énergies alternatives et de l'énergie atomique, en partenariat avec le ministère de l'Intérieur et le ministère de la Santé). Elle est titulaire d'un diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie délivré par les Universités (Université de Poitiers), d'un DESS en maîtrise des armements et désarmement (Université de Marne-la-Vallée), et d'un diplôme universitaire en sécurité et sûreté biologiques (Université de Lille).

Anne Sénéquier

Anne Sénéquier est chercheuse à l'IRIS, spécialisée sur les questions santé. Elle est titulaire d'un doctorat en psychiatrie, suivi d'une spécialisation en pédopsychiatrie. Dans le but de s'orienter vers l'humanitaire, elle double son cursus d'un master de « santé publique - épidémiologie » et d'un master « Action humanitaire : enjeux stratégiques et gestion de projet » au sein de l'IRIS Sup' où elle enseigne désormais la santé publique dans la coopération internationale. Elle a notamment travaillé avec Médecins sans Frontières (MSF), et Action contre la faim (ACF) comme référent médical. Aujourd'hui, elle est responsable mission chez Médecins du Monde (MdM).

Table des matières

1. INCIDENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN TERMES DE SANTE PUBLIQUE.. 6

1.1. Un véritable défi, appréhender l'incidence du changement climatique sur des risques sanitaires aux origines multifactorielles	8
1.2. Typologie des principaux risques sanitaires susceptibles d'être affectés par le changement climatique	9
1.3. Les multiples impacts du changement climatique sur le système de santé publique	
1.3.1. Des enjeux différents en fonction des niveaux de développement des pays et de l'état de leurs systèmes de santé	11
1.3.2. Des infrastructures et équipements pouvant être endommagés.....	11
1.3.3. Une perturbation des moyens d'accès, des chaînes d'approvisionnement et des flux logistiques	11
1.3.4. Des moyens de communication affectés	11
1.3.5. Un impact sur les acteurs de la santé	12
1.3.6. Une désorganisation de l'offre de soins.....	12

2. IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES PRINCIPAUX RISQUES SANITAIRES : DETERMINANTS, ENJEUX ET PERSPECTIVES 13

2.1. Risques sanitaires liés aux conséquences environnementales du changement climatique.....	14
2.1.1. Stress thermique et vague de chaleur.....	14
2.1.2. Rayonnement ultraviolet (UV).....	14
2.1.3. Maladies et affections respiratoires d'origine non infectieuse (pollens et pollution de l'air).....	14
2.1.4. Réactions et blessures causées par des arthropodes pathogènes	16
2.1.5. Stress hydrique et insécurité alimentaire	17
2.2. Maladies transmissibles / infectieuses et phénomènes de (ré)émergence	20
2.2.1. Une incidence du changement climatique mais des liens de causalité souvent difficiles à expliciter	20
2.2.2. L'importance des maladies émergentes ou réémergentes	21
2.2.3. Emergence de nouveaux virus grippaux et risque pandémique	23
2.2.4. Les maladies à transmission vectorielle	24
2.2.5. Maladies d'origine hydrique.....	35

2.2.6.	<i>Autres maladies infectieuses : l'exemple des méningites.....</i>	37
2.2.7.	<i>La Maladie X.....</i>	37
2.2.8.	<i>Les risques sanitaires liés à la fonte du pergélisol</i>	37
2.3.	<i>Situations d'urgence et conséquences des événements climatiques extrêmes ...</i>	39
2.4.	<i>Impact sur certaines maladies et affections non transmissibles.....</i>	39
2.4.1.	<i>Autres maladies</i>	39
2.4.2.	<i>Impact sur la santé mentale.....</i>	40

3. CONSEQUENCES POTENTIELLES POUR LE MINISTERE DES ARMEES D'UN POINT DE VUE SANITAIRE, OPERATIONNEL ET ORGANISATIONNEL..... 41

3.1.	<i>Perspectives d'évolution des risques en France métropolitaine et dans les DOM-COM</i>	42
3.1.1.	<i>Elévation des températures et intensification des vagues de chaleur.....</i>	42
3.1.2.	<i>Extension des aires de répartition géographiques des maladies infectieuses ou parasitaires</i>	44
3.1.3.	<i>Des risques liés à la montée des eaux et au réchauffement des océans.....</i>	44
3.2.	<i>Perspectives d'évolution des risques dans les zones de déploiement des OPEX, d'escale et des forces pré-positionnées</i>	45
3.2.1.	<i>Afrique de l'Ouest et Sahel.....</i>	46
3.2.2.	<i>Golfe Persique.....</i>	48
3.2.3.	<i>Zone Indopacifique</i>	48
3.3.	<i>Implications pour les forces, directions et services des armées</i>	49
3.3.1.	<i>Des implications en termes de protection des capacités individuelles et opérationnelles</i>	49
3.3.2.	<i>Des implications pour les missions relevant de la participation des armées à la gestion de crises sanitaires</i>	53
3.4.	<i>Focus sur l'impact potentiel pour le service de santé des armées</i>	53
3.4.1.	<i>Relever le défi de concilier mission prioritaire de soutien aux forces et participation à la gestion de crises sanitaires de grande ampleur.....</i>	53
3.4.2.	<i>Préserver et maintenir les compétences et domaines d'excellence permettant de répondre aux enjeux du changement climatiques</i>	54
3.4.3.	<i>Anticiper les risques sanitaires liés au changement climatique et s'adapter..</i>	54

1. INCIDENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN TERMES DE SANTE PUBLIQUE (PARTIE INTRODUCTIVE)



Les effets directs et indirects du changement climatique se font ressentir partout sur la planète, même si leur ampleur et leurs manifestations varient. D'après les estimations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le changement climatique pourrait être à l'origine de près de 250 000 décès supplémentaires par an dans le monde, entre 2030 et 2050¹. En mai 2020, 350 organisations représentant quelques 40 millions de professionnels de santé et 4 500 professionnels de 90 pays différents ont lancé un appel aux dirigeants du G20 afin que, dans le cadre de la relance dans le contexte de la Covid-19, les investissements en faveur de la santé publique, du climat, de la qualité de l'air et de celle de l'eau constituent une priorité².

Les populations les plus pauvres et les plus vulnérables sont en général les plus durement affectées en raison de leurs conditions de vie, de leur état de santé et/ou des difficultés d'accès aux soins. Mais **la récurrence et l'intensité des vagues de chaleur, la multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes à l'origine de catastrophes naturelles et l'émergence de maladies infectieuses sont autant de défis pour des populations pourtant moins vulnérables**, avec un impact économique significatif et des répercussions sur le mode de vie et dans la sphère professionnelle.

La prévention et la lutte contre les effets du changement climatique représentent un enjeu majeur et complexe à appréhender pour les autorités françaises. **Les forces, directions et services des armées sont dans ce cadre confrontés à une problématique multiforme du fait de la diversité des missions, des statuts des personnels et des localisations géographiques.** Le territoire français est composé de la métropole et de douze territoires d'Outremer, incluant des Départements et Régions d'Outremer (DROM), des Collectivités d'Outre-Mer (COM) et des terres inhabitées^{3,4}. Le domaine maritime national s'étend sur 11,2 millions de km², soit 3 % des mers du globe. Cette surface permet au domaine national d'être caractérisé par une importante diversité climatique, géologique et environnementale. Cependant, elle implique en outre d'intégrer la problématique des ressortissants français répartis partout autour du monde, dans les DROM-COM ou expatriés.

D'après le classement publié en 2019 par l'ONG *Germanwatch* qui prend en compte le nombre de décès et l'impact économique liés aux événements climatiques extrêmes, **la France serait 15^{ème} du classement des 183 pays les plus exposés aux phénomènes météorologiques extrêmes, et 8^{ème} pour la mortalité entre 1999 et 2018**⁵. L'indice des risques climatiques utilisé par l'ONG indique le niveau d'exposition et de vulnérabilité des pays aux phénomènes extrêmes (en se fondant sur leur impact direct uniquement), or le changement climatique fait partie des facteurs identifiés comme ayant une incidence sur la probabilité d'occurrence et la sévérité de ces événements⁶.

¹ <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

² Lettre aux chefs d'Etat du G20, 26 mai 2020. <https://healthyrecovery.net/letter/fr/>

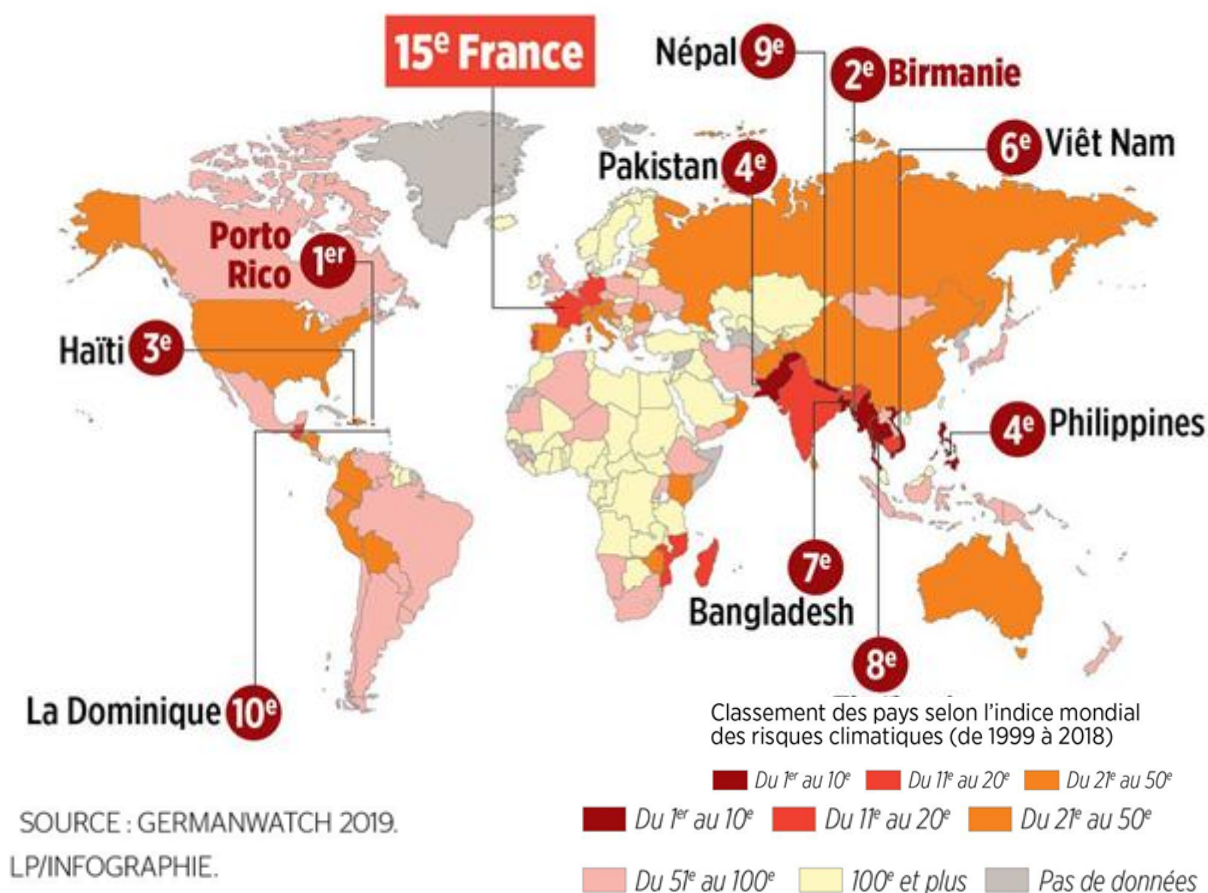
³ La France métropolitaine compte près de 65 millions d'habitants, tandis que les Outremer, avec 12 territoires, en rassemblent près de 2,6 millions dont 1,2 millions de jeunes.

⁴ Guadeloupe, Guyane, Martinique, La Réunion, Mayotte, Nouvelle-Calédonie, Polynésie française, Saint-Barthélemy, Saint-Martin, Saint-Pierre-et-Miquelon, les Terres Australes et Antarctiques Françaises et les îles de Wallis-et-Futuna.

⁵ Eckstein D., Künzel V., Schäfer L., et Wings M. *Global Climate Index 2020*. Germanwatch, Décembre 2019. Les bilans de la canicule de 2003 et de celles de 2006 et 2018, même s'ils sont bien inférieurs, expliquent notamment ces chiffres.

⁶ La science de la causalité des événements a pour objectif de chercher à quantifier l'impact de facteurs tels que le changement climatique anthropique sur les événements extrêmes. Malgré un développement des recherches dans ce domaine, il n'est cependant pas possible à l'heure actuelle de déterminer le rôle précis du changement climatique dans la survenue de chacun des événements pris en compte dans cette analyse.

Figure 1 - Classement des pays selon l'indice mondial des risques climatiques (1999-2018)



Source : Mouchon F. Canicules, tempêtes, inondations : La France est devenue un des pays les plus exposés au monde. Le Parisien. 4 décembre 2019 / Global Climate Index 2020. Germanwatch, Décembre 2019.

1.1. Un véritable défi, appréhender l'incidence du changement climatique sur des risques sanitaires aux origines multifactorielles

Au cours des cinquante dernières années, la croissance démographique, la déforestation, l'urbanisation, le développement des réseaux de transport rapides et mondiaux (connectivité, apparition du conteneur), ainsi que l'accélération du changement climatique ont contribué à la déstabilisation progressive des équilibres écosystémiques.

La santé des Hommes est directement affectée par la météo et le climat. Les événements climatiques extrêmes font des milliers de victimes chaque année et fragilisent l'état physique et psychique de millions de sinistrés. **Les sécheresses affectent directement le statut nutritionnel et par répercussion les pathologies pour lesquelles la malnutrition fait partie des facteurs aggravants en termes de morbidité et/ou de mortalité et sévérité (paludisme, méningites, diarrhées...)⁷.** Les

⁷ D'Avilla Ferreira E. et al, « Association between anthropometry-based nutritional status and malaria : a systematic review of observational studies », . *Malar J.* 2015;14:346. Roine I. et al. « Influence on malnutrition on the course of childhood bacterial meningitis ». *Pediatr Infect Dis J.* 2010;29(2):122-5. Tickell K., et al. "The effect of acute malnutrition on enteric pathogens, moderate-to-severe diarrhoea, and associated mortality in the Global Enteric Multicenter Study cohort : a post-hoc analysis". *Lancet Glob Health.* 2020;8(2):e215-e224.

inondations et les cyclones peuvent déclencher des épidémies de maladies infectieuses après avoir parfois mis à mal structurellement le système de santé d'un pays au moment où les besoins d'accès aux soins des populations sont particulièrement importants.

Les variations climatiques ont également une incidence indirecte sur la santé des Hommes à travers leur influence sur la distribution géographique et temporelle de maladies comme les diarrhées ou le paludisme. Le risque de propagation de maladies infectieuses lié au climat est corrélé à l'impact de celui-ci sur les systèmes biologiques et écologiques, dont font partie les vecteurs et les réservoirs des pathogènes. En effet, le climat régule la croissance et la réplication des pathogènes, et facilite la contamination ou l'exposition. Il a une influence sur la compatibilité du vecteur, de l'hôte ou du réservoir, en affectant leur cycle de vie et leur comportement, ainsi que sur l'incidence des maladies et la diversité des pathogènes. Il existe ainsi un lien entre la température moyenne/l'amplitude thermique diurne par jour et la capacité vectorielle.

De manière indirecte, le changement climatique contribue également à augmenter la vulnérabilité aux infections en favorisant des contextes propices à la malnutrition, facteur de risque clef pour les maladies infectieuses de manière générale, et encore plus pour les enfants de moins de 5 ans.

Sur le long terme, le changement climatique menace par ailleurs d'exacerber des problématiques déjà existantes en fragilisant les différentes composantes de la santé publique : les systèmes de santé publique, les systèmes de protection sociale, la sécurité alimentaire, et l'ensemble des systèmes vitaux pour la santé humaine.

Ajoutant à cette complexité, la relation de la santé au climat est en outre influencée par de nombreuses vulnérabilités comme la physiologie et le comportement des individus, les conditions environnementales dans lesquelles évoluent les populations mais aussi des déterminants socio-économiques, politiques, culturels ou religieux.

La problématique de la définition du lien de causalité est essentielle. L'origine des phénomènes affectés par le changement climatique est multifactorielle, ce qui rend l'analyse plus complexe et favorise les controverses. Adopter une démarche de prévention pour ne pas se contenter d'être dans la réaction face à l'urgence impose de chercher à mieux appréhender les déterminants en cause et leurs interactions.

1.2. Typologie des principaux risques sanitaires susceptibles d'être affectés par le changement climatique

Un corpus scientifique croissant conduit à anticiper une élévation des températures et des perturbations du régime pluviométrique, avec une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes, en particulier des précipitations⁸. **Ces évolutions auraient des répercussions directes et indirectes en termes de santé publique.** Ce constat a incité la communauté des professionnels de santé à se mobiliser, en particulier dans le cadre de la préparation de l'Accord de Paris sur le climat de 2015.

L'importance des effets du changement climatique sur les maladies infectieuses et parasitaires, en particulier les maladies à transmission vectorielles, explique qu'elles constituent une catégorie de risques à part entière. Il existe par ailleurs des interrelations entre ces différentes

⁸ Donat M., Lowry A., Alexander L., O'Gorman P. et Maher N. "More extreme precipitation in the world's dry and wet regions". *Nature Climate Change*. 2016;6:508-513.

catégories (entre situations d'urgence causées par un événement climatique extrême et maladies infectieuses, malnutrition et maladies infectieuses, stress hydrique et prévention des maladies infectieuses).

TYPLOGIES DES RISQUES SANITAIRES SUSCEPTIBLES D'ETRE AFFECTES PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Risques sanitaires liés aux conséquences environnementales du changement climatique

- Stress thermique et coups de chaleur (coups de chaleur classiques ou d'exercice)
- Rayonnement ultraviolet
- Maladies et affections respiratoires d'origine non infectieuse (pollens et pollution de l'air)
- Stress hydrique et impact de l'insécurité alimentaire

Situations d'urgence et autres conséquences des événements climatiques extrêmes

- Lésions et blessures physiques après une catastrophe naturelle
- Impact psychologique
- Augmentation de la prévalence de certaines maladies infectieuses et parasitaires, en particulier d'origine hydrique et vectorielle
- Impact sur la prévention en santé publique et le suivi des maladies transmissibles et non transmissibles dont l'origine n'est pas liée à la situation de crise

Impact sur les maladies infectieuses et parasitaires, dont maladies émergentes et réémergentes

- Maladies à transmission vectorielle ou zoonotique
- Maladies d'origine hydrique
- Autres maladies infectieuses
- La « maladie X »
- Risques liés à la fonte du permafrost (libération de virus piégé dans les glaces)

Impact sur certaines maladies et affections non transmissibles

- Impact sur certaines maladies non transmissibles
- Impact sur la santé mentale

Etudier l'impact direct et indirect du changement climatique sur la santé implique par ailleurs également de considérer ses effets sur le système de santé publique et les professionnels de santé. Une atteinte de ce système va en effet avoir des répercussions sur les risques sanitaires identifiés dans cette typologie. Cette dernière sera plus amplement déclinée dans la partie 2 de la présente note.

1.3. Les multiples impacts du changement climatique sur le système de santé publique

Le changement climatique peut avoir un impact sur chacun des piliers des systèmes de santé : les infrastructures, les équipements, les médicaments, les ressources humaines, la gouvernance et les systèmes d'information.

1.3.1. Des enjeux différents en fonction des niveaux de développement des pays et de l'état de leurs systèmes de santé

Les systèmes de santé dans les pays à revenu faible et intermédiaire, fréquemment considérés comme un coût et non un investissement, se retrouvent bien souvent sous-financés, structurellement fragiles et déjà confrontés aux défis des transitions démographiques et épidémiologiques. Mais les effets du changement climatique représentent également un véritable enjeu pour les pays à revenu élevé, y compris ceux disposant de système de santé réputés robustes. Dans les pays tempérés comme la France, les vagues de chaleur peuvent être à l'origine d'un dépassement des capacités de soins ambulatoires et hospitalière. En 2003, la vague de chaleur qui a frappé l'Europe a ainsi entraîné 70 000 décès supplémentaires au niveau européen. Les capacités d'accueil hospitalières ont été dépassées. L'ampleur de cette crise majeure et de la surmortalité résultante a d'ailleurs conduit les autorités françaises à revoir le système de veille sanitaire et d'alerte précoce. Autre exemple de catastrophe naturelle ayant affecté le territoire national, l'ouragan Irma, qui a dévasté les îles de Saint-Barthélemy et Saint-Martin, a sévèrement endommagé les hôpitaux, centres médicaux et établissements pour personnes âgées dépendantes (EHPAD)⁹.

1.3.2. Des infrastructures et équipements pouvant être endommagés

À travers la multiplication et l'augmentation en intensité des catastrophes naturelles (cyclones, glissement de terrain, inondations), le changement climatique entraîne un risque accru sur les infrastructures du système de santé, en particulier les hôpitaux et cliniques¹⁰, alors même que la demande de soins de la part de la population est très élevée : destruction partielle ou totale des installations et des équipements, coupures de courant et générateurs de secours hors de service, problèmes affectant les réseaux d'eau potable et d'eaux usées, etc.

1.3.3. Une perturbation des moyens d'accès, des chaînes d'approvisionnement et des flux logistiques

Les moyens d'accès aux infrastructures de santé peuvent également être affectés, perturbant non seulement le transport et l'accès des patients, mais aussi les flux logistiques, et donc les possibilités de réapprovisionnement en matériels et médicaments. Le circuit du médicament et des autres produits de santé peut ainsi être perturbé, avec des risques de tensions et de rupture d'approvisionnement, si les sites de production et de stockage sont touchés. L'ouragan Maria qui a frappé Porto Rico a ainsi contribué à mettre en lumière la vulnérabilité liée à la dépendance partielle du marché américain aux sites de production pharmaceutique installés sur l'île pour son approvisionnement en solutés de réhydratation par voie intraveineuse¹¹. Les médicaments peuvent par ailleurs être altérés dans des conditions de transport ou de stockage non contrôlées, notamment en cas de forte chaleur ou de rupture de la chaîne du froid (médicaments à conserver entre +2 et +8°C, ou à une température inférieure à 25 ou 30°C, ou sous forme liquide).

1.3.4. Des moyens de communication affectés

La destruction partielle ou totale des moyens de communication dans le contexte d'un événement climatique extrême tel qu'un ouragan ou une inondation va contribuer à aggraver les difficultés d'accès aux soins, notamment en empêchant les personnes nécessitant une prise en

⁹ <https://www.pourquoidoctor.fr/Articles/Question-d-actu/23092-Ouragan-Irma-5-millions-d-euros-degats-hopitaux>

¹⁰ <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMp1906035>

¹¹ Andrés M. Patiño, et al. « Facing the Shortage of IV Fluids – A Hospital-Based Oral Rehydration Strategy ». *N Engl J Med*. 2018; 378:1475-1477.

charge ou *a minima* un conseil médical de contacter les services de secours ou leur médecin. Elle va aussi rendre encore plus complexe la coordination des équipes et moyens de secours, ainsi que, plus généralement, l'organisation des soins. **Pour un pays comme la France, cette atteinte peut également se traduire par l'impossibilité d'accéder aux dossiers médicaux dématérialisés** et faire obstacle à la remontée d'information vers les autorités sanitaires et politiques compétentes ou au déploiement rapide de solutions alternatives de télémédecine.

1.3.5. Un impact sur les acteurs de la santé

Outre l'impact pour les patients, il faut également considérer les conséquences du changement climatique sur les primo-intervenants et les professionnels de santé (médecins, pharmaciens, infirmiers, aides-soignants, ambulanciers, pompiers, etc.). En fonction des circonstances, **ceux-ci peuvent en effet se retrouver dans l'incapacité de rejoindre leur lieu de travail** (en raison de routes bloquées) **ou être amenés à prodiguer des soins dans des conditions éprouvantes physiquement** (températures élevées, difficulté d'accès aux victimes) **et/ou très dégradées** (manque de matériels et de médicaments, installations de fortune après dégradation des infrastructures).

Le changement climatique, avec ses conséquences notamment sur la sécurité alimentaire, peut de plus contribuer aux dynamiques de déplacement de populations, mais aussi au déficit d'attrait de certaines régions pour les personnels médicaux. De plus en plus, des paramédicaux assurent des fonctions normalement dévolues à des personnels médicaux formés, avec des conséquences en termes de qualité des soins. Dans certaines régions du monde, il y a une absence presque totale de personnels de santé (au Sahel, il y a en moyenne 0,07 médecin et 4 infirmiers pour 1 000 habitants)¹².

1.3.6. Une désorganisation de l'offre de soins

Quelle que soit la cinétique de l'évènement causal (ouragan ou vague de chaleur prolongée), les atteintes potentielles (précisées ci-dessus) pouvant survenir de façon concomitante sont susceptibles d'occasionner une désorganisation de l'offre de soins, y compris dans des pays n'étant pas considérés comme particulièrement vulnérables en termes de système de santé publique. Elles peuvent avoir une incidence non seulement sur la prise en charge des victimes directement affectées par un évènement ou des conditions spécifiques, mais aussi indirectement sur la prévention, la prise en charge et le suivi médical pour des affections et maladies sans rapport avec la situation, avec des conséquences en termes de mortalité et de morbidité (retard pour les vaccinations obligatoires, défaut de suivi de patients atteints de maladies chroniques, report d'opérations chirurgicales, impossibilité de maintenir la continuité et la sécurité des soins en réanimation en cas d'atteinte du réseau d'électricité et des systèmes de secours dans un contexte d'évacuation d'urgence difficile, voire impossible).

¹² <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SH.MED.NUMW.P3>

2. IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES PRINCIPAUX RISQUES SANITAIRES : DETERMINANTS, ENJEUX ET PERSPECTIVES



2.1. Risques sanitaires liés aux conséquences environnementales du changement climatique

2.1.1. Stress thermique et vague de chaleur

L'augmentation des températures liée au changement climatique est associée à une augmentation du nombre de journées chaudes, ainsi que de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur. Ces dernières, où qu'elles surviennent, affectent les mêmes groupes de personnes vulnérables : personnes âgées, enfants, personnes avec des conditions médicales préétablies (diabète, hypertension artérielle), personnes isolées.

L'un des risques associés est le coup de chaleur (à distinguer de l'insolation), une urgence médicale qui peut s'avérer fatale en l'absence de traitement. Il intervient après une longue exposition à la chaleur ou des efforts prolongés et intenses, provoquant déshydratation et augmentation de la température corporelle.

Le coup de chaleur d'exercice (CCE) peut être défini comme la survenue de troubles neurologiques pouvant aller de la confusion au coma, avec une hyperthermie supérieure à 40°C, se produisant au cours ou au décours immédiat d'un exercice physique intense et prolongé¹³. **Le coup de chaleur d'exercice résulte d'une conjonction de facteurs intrinsèques, propres à l'individu ou circonstanciels, et extrinsèques.** Ces derniers incluent une température ambiante élevée, l'absence de vent, une forte hygrométrie (taux d'humidité de l'air) ou encore le port de tenue empêchant l'évaporation de la sueur. Ces déterminants doivent être considérés en fonction de l'intensité de l'exercice physique.

2.1.2. Rayonnement ultraviolet (UV)

La réduction de la couche d'ozone affecte le climat, mais le changement climatique affecte réciproquement l'ozone. **Or l'ozone stratosphérique absorbe une grande partie des rayonnements ultraviolets dangereux pour les organismes vivants. Un appauvrissement de cette couche conduit par conséquent à laisser passer plus d'UV, ce qui a des conséquences sanitaires.** D'après les projections, les modifications de l'ozone et des nuages pourraient entraîner une forte diminution des UV aux hautes latitudes, où ils sont déjà faibles, et une légère augmentation aux basses latitudes, où ils sont déjà élevés. Néanmoins, cette évolution reste très incertaine, car la couverture nuageuse, les polluants atmosphériques et les aérosols - autant de variables qui subissent l'influence du changement climatique - jouent également un rôle¹⁴.

Les risques liés à une exposition trop importante aux UV comprennent les coups de soleil, les atteintes ophtalmiques (photoconjunctivite, cataracte), une diminution des défenses immunitaires et les cancers cutanés.

2.1.3. Maladies et affections respiratoires d'origine non infectieuse (pollens et pollution de l'air)

La pollution de l'air peut être définie comme la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par un agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles

¹³ Sagui E. et al. « Le coup de chaleur d'exercice : quoi de neuf ? ». *Médecine et Armées*. 2015 ;43(5)490-497.

¹⁴ McKenzie R., et al. « Ozone depletion and climate change : impacts on UV radiation ». *Photochem Photobio Sci*. 2011;10(2):182-198.

de l'atmosphère¹⁵. **Pollution atmosphérique et changement climatique, qui partagent par ailleurs les mêmes déterminants, interagissent de façon réciproque et complexe.** Le changement climatique est associé à une augmentation de la température atmosphérique moyenne et induit des variations de paramètres météorologiques tels que le vent, les précipitations, l'humidité ou les nuages. Ceux-ci ont une incidence sur la qualité de l'air en transportant les particules et les mélangeant¹⁶. **Le changement climatique favorise l'augmentation des concentrations de particules fines résultant des incendies (tels que les feux de forêt) et a une incidence sur la formation d'ozone au niveau du sol¹⁷,** par son action sur l'isoprène¹⁸. Le lien est plus incertain et des études sont en cours pour mieux comprendre l'influence du changement climatique sur les particules fines et les autres polluants¹⁹.

La pollution de l'air est associée une mortalité et une morbidité importante. Elle a un impact sur des maladies telles que certains cancers, les maladies cardio-vasculaires ou les maladies respiratoires, ainsi que sur la qualité de vie des personnes atteintes de maladies chroniques.

Le changement climatique peut également avoir des conséquences sur la fonction respiratoire, concourant au développement des allergies respiratoires et de l'asthme. Des études épidémiologiques ont montré que les affections allergiques (eczéma, rhino-conjonctivites, asthme) auraient presque triplé au cours des trois dernières décennies.

L'exposition aux pollens et moisissures joue un rôle important, leurs allergènes pouvant déclencher la libération de médiateurs pro-inflammatoires et immuno-modulateurs qui accélèrent la sensibilisation allergique médiée par les immunoglobulines E (IgE). L'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ favorise en effet la photosynthèse et la croissance des plantes, la production de pollens de certaines Poacées en plus grande quantité, mais aussi l'augmentation du nombre de particules allergènes dans chaque grain, rendant le pollen plus allergisant. Le changement climatique agit également sur les saisons polliniques, modifiant leurs caractéristiques telles que le début, la durée ou l'intensité. **La prolifération des moisissures à l'origine de cas d'asthme grave est quant à elle favorisée par des phénomènes comme les inondations et les tempêtes²⁰.**

FOCUS : L'AMBROISIE A FEUILLES D'ARMOISE

L'ambrosie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia*) est une plante invasive d'origine nord-américaine. Son pollen, très allergisant, provoque principalement des conjonctivites, des rhinites, des trachéites et des crises d'asthme souvent sévères. Les différents modes de dispersion des graines, d'origine naturelle ou humaine, et le changement climatique favorisent la colonisation par l'ambrosie de nouveaux territoires, en particulier au Nord et au Nord-Est de l'Europe. Ces deux facteurs combinés sont ainsi responsables de l'évolution géographique de la contamination de l'air par les pollens, mais aussi de l'augmentation de leurs concentrations aériennes. Ces dernières

¹⁵ https://www.who.int/topics/air_pollution/fr/

¹⁶ <http://www.meteofrance.fr/actualites/43586302-pollution-de-l-air-et-changement-climatique>

¹⁷ <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/articles/quel-est-le-lien-entre-pollution-atmospherique-et-changement-climatique>

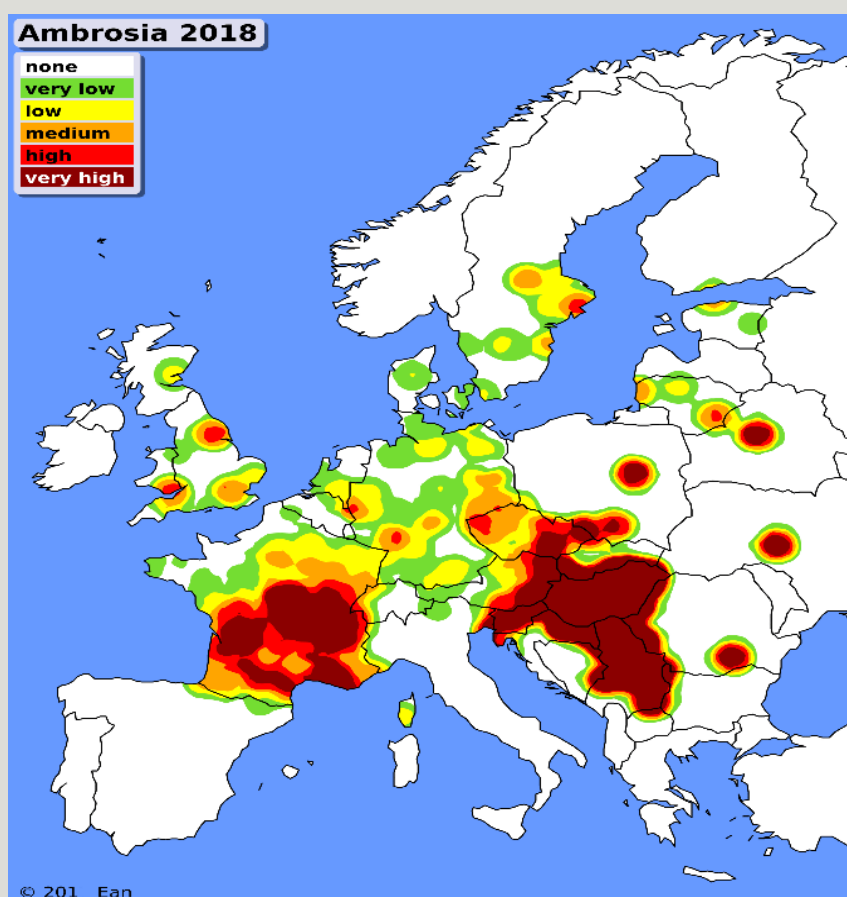
¹⁸ Saunier A. et al. "Isoprene contribution to ozone production under climate change in the French Mediterranean area". *Regional Environmental Change*. 2020;20:111.

¹⁹ <https://www.epa.gov/air-research/air-quality-and-climate-change-research>

²⁰ D'Amato G. et al. "The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens". *Allergy*. 2020. DOI: [10.1111/all.14476](https://doi.org/10.1111/all.14476).

pourraient ainsi quadrupler d'ici 2050, l'augmentation de la production de pollen étant liée à celle du CO₂ qui favorise le développement de la végétation²¹.

Figure 2 - Répartition géographique de l'armoire en Europe (2018)



Source : European Aeroallergen Network (EAN), 2018.

La pollution atmosphérique favorise le développement des allergies et peut aggraver les symptômes²².

2.1.4. Réactions et blessures causées par des arthropodes pathogènes

Si les arthropodes hématophages vecteurs de maladies infectieuses ont une importance prépondérante en entomologie médicale et vétérinaire, **il faut également considérer le rôle des arthropodes parasites, venimeux, urticants, vésicants et allergisants et nuisants qui sont à l'origine de nombreuses blessures et décès chaque année.**

²¹ Hamaoui-Laguel L. et al. « Effects of climate change and seed dispersal on airborne ragweed pollen loads in Europe ». *Nature Climate Change*. 2015;5:766-771.

²² <https://www.pollenundallergie.ch/infos-sur-pollens-et-allergies/informations-polliniques/pollution-atmospherique/?oid=1866&lang=fr>

Tableau 1 - Les arthropodes pathogènes

Arthropodes pathogènes	Mode d'action	Exemples
<i>Arthropodes venimeux</i>	Accidents allergiques ou envenimations en cas de piqûres multiples suite à l'injection de venin par piqûre ou morsure	Hyménoptères (i.e. guêpes, abeilles, bourdons, frelons, fourmis) Arachnides (i.e. araignées, scorpions, uropyges, solifuges) Myriapodes (i.e. diplopodes, chilopodes ^[1])
<i>Arthropodes allergisants</i>	Réactions suite à 1) l'injection de salive au moment de la piqûre (mais aussi à 2) celle de venin ou à 3) l'exposition aux allergènes produits)	1) La plupart des arthropodes hématophages (i.e. moustiques, phlébotomes, triatomes, poux), 2) Certains hyménoptères, 3) i.e. Acariens des poussières, blattes
<i>Arthropodes vésicants ou urticants</i>	Réactions parfois violentes à des substances sécrétées	Espèces urticantes ou vésicantes dans la plupart des ordres d'insectes (i.e. lépidoptères, coléoptères) et d'acariens.
<i>Arthropodes nuisants</i>	Importance médicale ou vétérinaire inconnue, transport passif de pathogènes, hôtes intermédiaires de parasites, gêne aux activités économiques ou aux déplacements (par pullulation)	Espèces n'entrant pas dans les catégories précédentes.

Sources : Duvallet G. Arthropodes venimeux, allergisants, urticants, vésicants et nuisants, in Duvallet G., Fontenille D. et Robert V. (dir.), *Entomologie médicale et vétérinaire*. Marseille : IRD Editions, 2017.

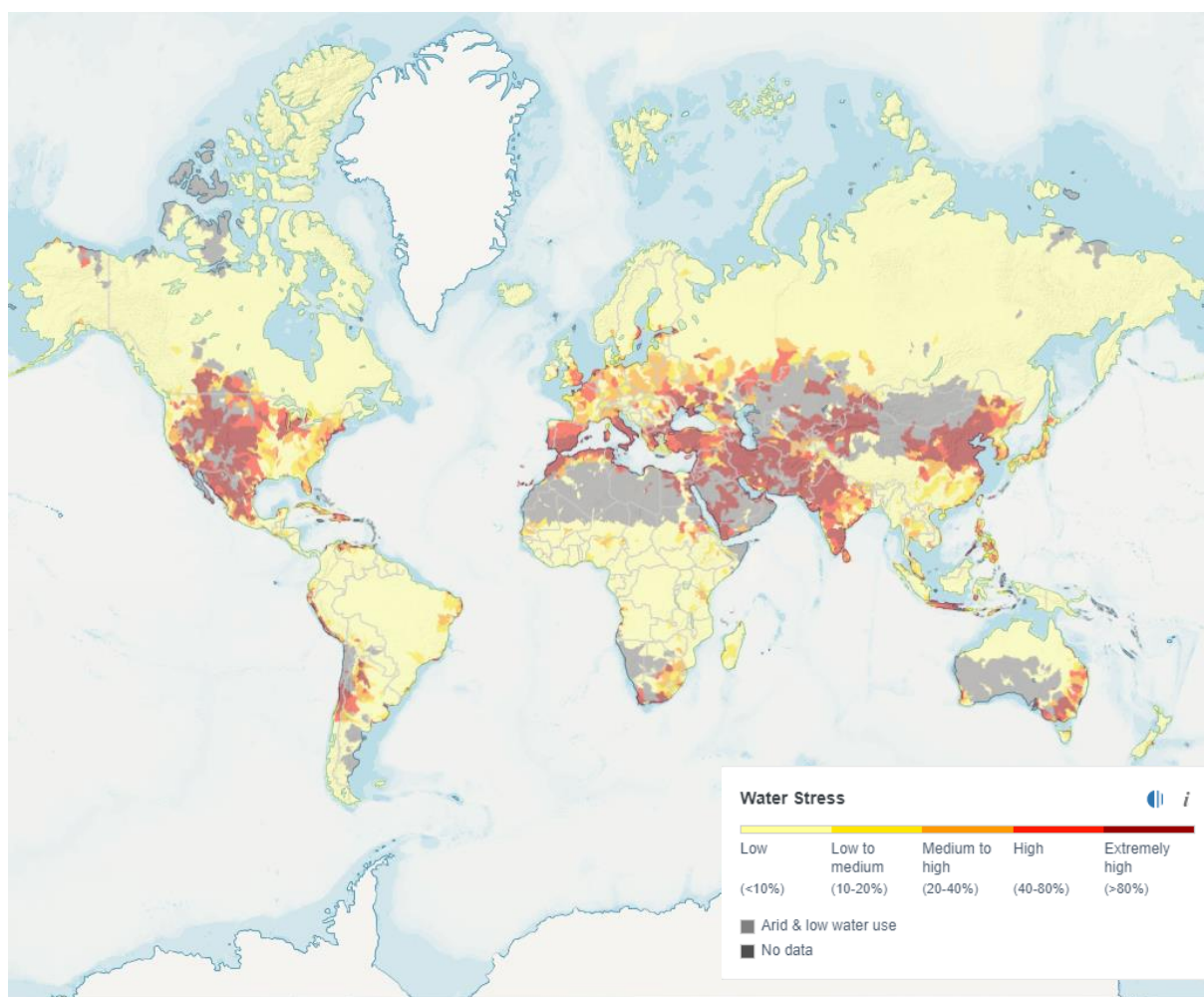
^[1] Les scolopendres font partie de ce groupe.

2.1.5. Stress hydrique et insécurité alimentaire

Plus de 2 milliards de personnes vivent dans des pays où le stress hydrique est élevé et environ 4 milliards sont confrontées à une grave pénurie en eau pendant durant au moins un mois de l'année²³. **Les causes peuvent être variées, recouvrant aussi bien des facteurs conduisant à la diminution des quantités accessibles** (fluctuations de la pluviométrie, sécheresse) **que la qualité des eaux** (contamination par des eaux usées). Cette pression sur les ressources hydriques pourrait encourager le développement du recyclage des eaux usées pour l'irrigation et donc la production d'aliments, une pratique qui n'est cependant pas dénuée de risques sanitaires.

²³ Programme mondial de l'UNESCO pour l'évaluation des ressources en eau. *Rapport Mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2019 : Ne laisser personne pour compte*. 2019.

Figure 3 - Prévisions du stress hydrique à l'horizon 2040 (scénario d'évolution neutre)



Source : Aqueduct Water Risk Atlas, World Resources Institute²⁴.

Avec les projections d'augmentation du niveau moyen de la mer et de saisons sèches plus marquées d'ici la fin du XXI^e siècle, **la vulnérabilité des captages d'eau aux phénomènes d'intrusions salines pourrait s'aggraver**. En effet, en période d'étiage (basses eaux), la marée pénètre plus facilement les fleuves et l'intrusion saline peut se faire ressentir plus en amont. La montée des eaux n'est pas égale en tout point du globe. Cependant, si la vitesse et le niveau de hausse ne sont pas les mêmes, les conséquences sont similaires, avec en particulier un recul des terres dévolues à l'agriculture. Celles-ci deviennent incultivables. **La montée des eaux salines affecte également la disponibilité de l'eau potable (intrusion d'eaux salines dans les nappes phréatiques), ce qui peut avoir un impact sur la survenue de certaines maladies infectieuses (maladies diarrhéiques notamment) mais aussi sur la santé mentale (notamment en lien avec la nécessité de migrer et de quitter le foyer)**. La température moyenne de l'eau et des eaux de surface est un indicateur important, car l'eau réchauffée perd sa capacité à stocker de l'oxygène, elle dissout plus de sel, et favorise le développement de certains pathogènes - vibron du choléra par exemple.

²⁴ https://wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&indicator=d5c8316c-de80-4be3-a973-d3fbafc7eaca&lat=30&lng=-80&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&predefined=false&projection=absolute&scenario=business_as_usual&scope=future&timeScale=annual&year=2040&zoom=3 [Consulté le 15 juillet 2020].

Les effets du changement climatique ont une influence sur les déterminants de la sous-nutrition que sont la sécurité alimentaire, l'eau, l'hygiène et l'assainissement, ainsi que la santé et pratique des soins, augmentant le risque de crise alimentaire :

- **Le changement climatique amplifie les menaces préexistantes portant sur les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire à travers ses effets directs sur la disponibilité, l'accessibilité et l'utilisation des aliments.** La production alimentaire mondiale sera touchée en raison de la baisse prévue des rendements de certaines cultures agricoles produisant des denrées de première nécessité, conduisant à des effets négatifs sur la disponibilité de la nourriture. La hausse structurelle et la volatilité des prix des denrées alimentaires de base vont rendre difficile l'accès des plus pauvres à l'alimentation.
- **Le changement climatique peut agir sur les récoltes de plusieurs façons.** Les événements météorologiques extrêmes telles que les inondations et les tempêtes peuvent entraîner la destruction brutale des récoltes. Les modifications pluviométriques peuvent favoriser la propagation d'espèces envahissantes. Enfin, les variations climatiques sont susceptibles d'induire un stress sur certaines plantes mais aussi d'avoir un impact sur l'émergence de maladies s'attaquant aux plantes.
- **La quantité et la qualité des ressources en eau, déjà sous tension, seront également affectées négativement.** Les catastrophes liées au climat menacent les systèmes d'acheminement et d'assainissement de l'eau, ayant des conséquences directes sur l'hygiène et l'accès à l'eau, en particulier dans les zones urbaines. Les variations importantes des températures, des précipitations et de l'humidité influencent la prévalence des maladies à transmission vectorielle qui affaiblissent le statut nutritionnel²⁵. De plus, la concurrence autour des ressources en eau de plus en plus rares accentue le risque de conflits et les flux migratoires, qui à leur tour amplifieront encore le risque d'insécurité alimentaire et nutritionnelle.
- **Le changement climatique augmente également la prévalence de la sous-nutrition à travers ses effets sur la santé.** Selon la série du *Lancet* sur la malnutrition maternelle et infantile de 2008, le changement climatique est la plus grande menace sanitaire mondiale du XXI^e siècle, et contribue déjà à la charge mondiale de morbidité²⁶ et de décès prématurés. Le changement climatique alourdit la charge de travail en particulier pour les femmes, ce qui diminue leur capacité à fournir des soins appropriés aux nourrissons et aux jeunes enfants, l'une des causes majeures de la sous-nutrition.

²⁵ Le statut nutritionnel est représenté par les caractéristiques anthropométrique (taille, poids, largeur du buste, etc.), les apports alimentaires et l'activité physique.

²⁶ « La charge mondiale de morbidité est évaluée par l'OMS afin de donner une image complète de l'état de santé mondial en utilisant les années de vie corrigées de l'incapacité (DALY). Cette évaluation dans le temps combine les années de vie perdues du fait d'une mortalité prématurée et celles qui le sont du fait des années vécues sans être en pleine santé ». https://www.who.int/topics/global_burden_of_disease/fr/

2.2. Maladies transmissibles / infectieuses et phénomènes de (ré)émergence

DEFINITIONS CLES

Maladies transmissibles/infectieuses : Les maladies infectieuses sont causées par des microorganismes pathogènes, tels que les bactéries, les virus, les parasites ou les champignons. Ces maladies peuvent se transmettre, directement ou indirectement, d'une personne à l'autre.²⁷

Zoonoses : Les zoonoses sont un groupe de maladies infectieuses qui se transmettent naturellement de l'animal à l'homme. Le plus grand risque de transmission se situe à l'interface entre l'homme et l'animal par une exposition directe ou indirecte à l'animal, les produits qui en sont issus (par exemple la viande, le lait, les œufs, etc.) et/ou son environnement.²⁸

Réservoir : Toute espèce qui participe au cycle de reproduction d'un agent pathogène (virus, bactérie, nématode parasite, prion pathogène, etc.) à partir de laquelle il peut contaminer d'autres espèces. Contrairement à celle de l'hôte définitif, la disparition de l'espèce-réservoir n'implique pas forcément la disparition du pathogène. Le réservoir est le lieu dans lequel prolifèrent ou s'accumulent les agents biologiques. Dans le cas des zoonoses, cela peut être l'animal lui-même, ses sécrétions (salive, urines, sécrétions génitales...), ses déjections ainsi que l'environnement souillé ou contaminé par les déjections (eau, locaux, outils...).

Hôte : L'hôte intermédiaire passif abrite la forme infestante jusqu'à un passage accidentel chez l'hôte définitif.

Vecteur : L'hôte intermédiaire actif ou vecteur est le transformateur incontournable dans l'évolution de l'agent pathogène en une forme infectante. Chez le vecteur, l'agent pathogène peut subir une multiplication, une maturation et changements structuraux (anophèles, mollusques).

Transmissibilité vectorielle. Elle repose sur :

- La compétence vectorielle, qui désigne la faculté biologique du vecteur à transmettre la maladie et dépend essentiellement de facteurs génétiques ;
- La capacité vectorielle, qui correspond à l'efficacité avec laquelle le vecteur transmet la maladie.

2.2.1. Une incidence du changement climatique mais des liens de causalité souvent difficiles à expliciter

L'influence du changement climatique est considérée comme possible ou vraisemblable pour de nombreuses maladies à transmission vectorielle (véhiculées par des insectes, des gastéropodes ou d'autres animaux à sang froid) et/ou zoonoses, de par une modification de la répartition géographique et de l'activité des vecteurs et des réservoirs animaux. Le changement climatique a des répercussions sur la distribution latitudinale et altitudinale des vecteurs, mais aussi sur leurs périodes d'activité au cours de l'année, leur longévité, leur densité ou encore sur la durée d'incubation des agents pathogènes.

Le changement climatique pourrait également contribuer à la propagation de maladies fongiques, la croissance et la dissémination des *fungi* étant affectées par des facteurs tels que les

²⁷ https://www.who.int/topics/infectious_diseases/fr/

²⁸ https://www.who.int/foodsafety/areas_work/zoonose/fr/ . Site internet WHO : sécurité sanitaire des aliments. Consulté le 8/07/2020

changements de températures, l'humidité et le vent. L'incidence de la coccidioïdomycose ou fièvre de la vallée est ainsi par exemple supérieure dans les zones présentant des températures plus chaudes et des sols plus secs²⁹.

La répartition géographique de ces maladies est influencée par de nombreux autres facteurs environnementaux et sociaux ayant une incidence sur les interactions de l'homme avec son environnement, comme par exemple : l'urbanisation anarchique, l'intensification des flux commerciaux et de personnes ou les modifications des pratiques agricoles. Déforestation et catastrophes naturelles peuvent entraîner des déplacements de populations humaines et animales, à l'origine d'une intensification des interactions potentielles entre hôtes et vecteurs, tandis que les inondations vont favoriser la prolifération de certains vecteurs (gîtes larvaires). Certains vecteurs peuvent par ailleurs être transportés par les oiseaux migrateurs ou le vent. L'accès à l'eau, l'assainissement, ainsi que la qualité des systèmes de surveillance sanitaire et de soin interviennent également. Enfin, l'engagement communautaire et le niveau de sensibilisation des populations leur permettant d'adopter des pratiques limitant les risques sont des éléments particulièrement importants (hygiène, lutte antivectorielle, pratiques funéraires).

Malgré les efforts de modélisation, **il reste cependant difficile de faire des projections et d'évaluer l'impact réel du changement climatique et de ses conséquences sur ces évolutions, leurs causes étant multifactorielles.** Certaines études, à partir de données historiques, ont ainsi établi *a contrario* un lien entre températures plus froides et augmentation des maladies infectieuses. Elucider les relations entre l'écologie des vecteurs de maladies et les dynamiques de transmission des agents pathogènes est donc crucial afin de pouvoir développer des modèles spécifiques et évaluer les risques, renforcer les systèmes d'alerte précoce et développer des stratégies de prévention efficaces.

2.2.2. L'importance des maladies émergentes ou réémergentes ³⁰

Les maladies émergentes, concept aux contours discutés, peuvent être définies comme des maladies dont l'incidence réelle augmente de manière significative, dans une population donnée, d'une région donnée, par rapport à la situation habituelle de cette maladie³¹. Il s'agit donc d'un phénomène dynamique dans le temps et l'espace qui peut impliquer³² :

- Une maladie inconnue, pour laquelle l'agent et/les conditions environnementales n'existaient pas avant la détection des premières manifestations cliniques ;
- Une maladie connue chez l'animal, qui n'avait jamais été détectée chez l'homme et dont la transmission interhumaine est en général limitée ;
- Une maladie en réalité existante mais nouvellement identifiée chez l'être humain ;
- Une maladie connue dont l'agent causal n'avait pas encore été identifié.

Les maladies émergentes sont majoritairement le résultat de pathogènes qui changent d'hôtes, passant du monde animal à l'Homme, parfois par l'intermédiaire d'un animal domestique (bétails).

²⁹ <https://health2016.globalchange.gov/climate-and-health-assessment/extreme-events/boxes/fungal-diseases-and-climate-change>

³⁰ Il n'existe une liste unifiée de maladies émergentes et ré-émergentes (sources : NIAID, OMS, Woolhouse, M. E., Gowtage-Sequeria, S., « Host range and emerging and reemerging pathogens ». *Emerg Infect Dis*, 2005 ; (12), 1842-1847).

³¹ Toma B., Thiry E. « Qu'est-ce qu'une maladie émergente ? » *Epidemiol. et Santé Anim.* 2003 ;44 : 1-11.

³² Fagherazzi-Pagel H. *Maladies émergentes et réémergentes chez l'Homme : concepts, facteurs d'émergence, alertes, riposte et coopération mondiale* (Rapport de recherche). Institut de l'Information Scientifique et Technique (INIST-CNRS). 2008, 76 p. hal-01456814.

75 % des maladies émergentes³³ de ces quarante dernières années sont ainsi des zoonoses (Covid-19, SARS, MERS, mais aussi Ebola, Zika, grippe aviaire, fièvre du Nil occidental).

Le fait qu'une pandémie semblable à celle de la Covid-19 puisse survenir est prévisible bien qu'il ne soit pas possible d'en prédire la date. L'émergence d'une nouvelle maladie ne survient cependant pas aisément. Elle résulte d'une succession d'étapes complexes qui dépendent de plusieurs facteurs. Huit facteurs liés à l'activité humaine ont été identifiés :

1. La demande humaine accrue de protéines animales ;
2. L'intensification de pratiques agricoles non durables ;
3. L'utilisation et l'exploitation accrues des espèces sauvages/de la faune ;
4. L'utilisation non durable des ressources naturelles, encore accélérée par l'urbanisation, le changement d'affectation des sols et les industries extractives ;
5. L'augmentation des voyages et des transports. Chaque jour 11 millions de personnes utilisent le transport aérien ;
6. Les évolutions de la chaîne agroalimentaire ;
7. La pollution des eaux et de l'air.
8. Le changement climatique. Les variables climatiques, y compris celles qui influent sur la disponibilité des denrées alimentaires et de l'eau, ont un impact direct sur les populations d'animaux sauvages et les vecteurs, sur leurs concentrations et leurs incursions dans des zones habitées.

2.2.2.1. *Emergence du SARS-CoV-2 et changement climatique*

L'émergence de différents coronavirus (SARS-CoV, MERS-CoV, SARS-CoV2) a été à l'origine de trois épidémies meurtrières au cours des deux dernières décennies. **Sans rentrer dans les controverses sur l'origine de l'épidémie de la Covid-19 actuelle, le trafic illégal de faune sauvage, l'existence de marchés insalubres, la promiscuité accrue entre hommes et animaux dans certaines régions, la déforestation et l'extension des terres agricoles sont autant de facteurs qui ont pu favoriser l'émergence de la maladie. La question de l'impact direct ou indirect du changement climatique dans ce processus et sur la dynamique de propagation est également posée.** Si des interactions semblent exister, de nombreuses incertitudes subsistent néanmoins à ce stade et il est difficile d'évaluer l'ampleur du rôle qu'il peut jouer.

Le virus est très proche de l'un de ceux retrouvés chez des chauves-souris rhinolophes, mais l'animal intermédiaire qui pourrait être responsable de la transmission à l'Homme n'a pas encore été identifié³⁴. Sous l'influence du changement climatique, les aires de distribution d'une partie des espèces se sont déplacées vers le Nord ou l'Ouest, ce qui pourrait avoir eu des conséquences en termes de risque d'émergence.

S'agissant des facteurs de risques associés au coronavirus susceptibles d'être affectés par le changement climatique, des études semblent indiquer une corrélation entre l'exposition à une pollution aérienne, en particulier aux particules fines, et une augmentation de la mortalité due au

³³ Six faits qui soulignent le lien entre nature et coronavirus. <https://www.un.org/en/coronavirus>

³⁴ <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/maladie-covid-19-nouveau-coronavirus>

Covid-19, même si le lien de causalité doit être confirmé³⁵. Or pollution atmosphérique et changement climatique ont des interactions complexes mais tendent à une aggravation réciproque.

La question de l'influence de la température de l'air et du taux d'humidité, pourtant largement associés à la survenue d'épidémies de maladies respiratoires, ne fait pas l'objet d'un consensus au sein de la communauté scientifique dans le cas de la Covid-19. **Il semblerait néanmoins qu'il y ait une association négative entre l'augmentation des températures et de l'humidité et le nombre de cas et de décès observés**³⁶. Les pays avec des foyers épidémiques actifs présentent une température moyenne et une humidité spécifique plus faibles que les régions qui ne signalent pas de transmission communautaire importante. Ce constat a amené à poser la question de la transmissibilité dans les pays plus chaud et humides, et plus globalement des conséquences en termes de contrôle de l'épidémie³⁷. Au vu des pays atteints, force est néanmoins de constater que ces conditions météorologiques, si elles peuvent sans doute freiner partiellement la propagation virale, ne sont pas suffisantes pour l'enrayer et que la mise en œuvre des mesures barrières et des règles de distanciation sociale reste indispensable.

Plus globalement, le changement climatique porte atteinte aux déterminants de la santé et induit un fardeau supplémentaire sur des systèmes de santé souvent déjà en tension voire très fragilisés. Dans le cas de la Covid-19, il peut avoir un impact négatif sur la gestion de la crise mais aussi sur la mise en œuvre des mesures de prévention de la contamination³⁸.

Les principales mesures barrières préconisées en l'absence de traitements prophylactiques et curatifs efficaces sont la distanciation sociale, le lavage fréquent des mains à l'eau et au savon, et le port d'équipements de protection, incluant le masque. Des températures élevées vont rendre le port du masque, des gants et des autres équipements très inconfortable et plus fatigant. Les problèmes d'assainissement et les difficultés d'accès à l'eau vont quant à eux perturber le fonctionnement des infrastructures de santé. Il sera de plus très difficile pour les populations de mettre en applications les recommandations en matière de lavage des mains. Ainsi, d'après les estimations, 40 % de la population mondiale n'a déjà pas la possibilité de se laver les mains à l'eau et au savon chez soi, tandis que près de la moitié des écoles ne disposent pas des installations nécessaires. **Ces conditions sont propices à la propagation du virus au sein de communautés vulnérables souvent déjà affectées par des carences alimentaires et par une prévalence élevée d'autres maladies chroniques, y compris des maladies tropicales négligées.**

2.2.3. Emergence de nouveaux virus grippaux et risque pandémie

En association avec d'autres facteurs tels que la vitesse des flux humains, le changement climatique peut avoir une incidence sur l'émergence et la propagation d'une souche pandémique. Leurs conséquences sur le risque pandémique ne sont toutefois pas encore bien appréhendées, les effets des facteurs environnementaux n'étant pas encore parfaitement élucidés. Les variations du climat pourraient contribuer à créer un environnement favorable à l'émergence virale en ayant un impact sur la survie du virus dans l'air, sur les routes de migrations des oiseaux

³⁵ Conticini E, Frediani B, et Caro D. "Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy ?" *Environmental pollution*. 2020;261:114465.

³⁶ Wu Y., et al. "Effects of temperature and humidity on the daily new cases and new deaths of Covid-19 in 166 countries." *Sci Total Environ*. 2020;729:139051.

³⁷ O'Reilly K. et al. "Effective transmission across the globe : the role of climate in COVID-19 mitigation strategies". *Lancet Planet Health*. 2020;4(5):e172.

³⁸ Stoler J., Jepson W., et Wutich A. "Beyond handwashing: Water insecurity undermines COVID-19 response in developing areas". *J Global Health*. 2020;10(1):010355.

sauvages, les pratiques d'élevage de volailles ou encore sur la proximité entre êtres humains, animaux sauvages et domestiques³⁹.

Le changement climatique est par ailleurs également susceptible d'avoir un impact sur la grippe saisonnière. Alors que les basses températures et l'humidité en hiver étaient plutôt considérées comme les conditions favorables à la transmission du virus grippal, la saison de grippe 2017-2018, particulièrement sévère et meurtrière aux Etats-Unis⁴⁰, a également été l'une des plus chaudes jamais enregistrées. Début 2020, des chercheurs de la *Florida State University* ont établi un lien entre survenue des épidémies et changements météorologiques rapides. **Ces fluctuations rapides associées au changement climatique pourraient conduire à une augmentation du risque épidémique dans les zones densément peuplées, avec un nombre de décès plus important⁴¹.**

2.2.4. Les maladies à transmission vectorielle

Les maladies vectorielles sont responsables de plus de 17 % des maladies infectieuses, entraînant plus d'un million de décès par an. L'agent pathogène en cause (parasite, bactérie, virus) est impérativement transmis par un intermédiaire vivant (le vecteur, très souvent un arthropode hématophage). Largement répandues dans les zones tropicales et subtropicales, où elles sont responsables d'une morbidité et d'une mortalité importantes, elles se rencontrent également dans les climats froids ou tempérés. **Leur existence est intimement liée aux écosystèmes qui permettent le maintien de populations d'insectes vecteurs.**

³⁹ Gilbert M., Slingenbergh J., et Xiao X. "Climate change and Avian Influenza". *Rev Sci Tech*. 2008;27(2):459-466.

⁴⁰ OMS, « Bilan de la saison grippale 2017-2018 dans l'hémisphère nord ». *Relevé épidémiologique hebdomadaire*. 2018 ;34(93) :449-444. <https://www.cdc.gov/flu/about/burden-averted/2017-2018.htm>

⁴¹ Lui Q., et al. "Changing rapid weather variability increases influenza epidemic risk in warming climate". *Environmental Research Letters*. 2020;15(4).

Tableau 2 - Principales maladies vectorielles et vecteurs associés

Maladie	Insecte vecteur		agent pathogène	localisation géographique
	type	genre		
fièvre jaune	moustiques	Aedes	virus	Amérique latine et Afrique intertropicale
dengue		Aedes	Virus	Zone intertropicale et tempérées chaudes
Chikungunya		Aedes	Virus	potentiellement cosmopolite
Zika		Aedes	Virus	potentiellement cosmopolite
Paludisme		Anophèles	Parasites (Plasmodium)	Zone intertropicale et tempérées chaudes
filariose		Culex	Vers parasite (Filaires)	Asie tropicale et bande tropicale
encéphalite japonaise		culex	virus	Asie du Sud-Est
Fièvre de la vallée du Rift		Culex et Aedes	Virus	Afrique tropicale
Fièvre du Nil Occidental		Culex et Aedes	Virus	potentiellement cosmopolite
trypanosomias	glossines	glossina	parasites (Trypanosoma)	Afrique Equatoriale
africaines (maladies du sommeil)				
Bartonellose	phlébotomes	lutzomyia	bactérie (Bartonella)	Andes
leishmanioses		Phlébotoma et Lutzomyia	parasites (leishmania)	Bande tropicale et méditerranée
Trypanosomias	Punaises	triatoma, Rhodnius	Parasite (Trypanosoma cruzi)	Amérique du sud et centrale
américaines (Maladie de Chagas)				
Typhus Murin et humain	puces	Xenopsylla	bactérie (Rickettsia)	cosmopolite
peste		Xenopsylla	bactérie (Yersinia)	Cosmopolite
typhus exanthématique	poux	Pediculus	bactérie (Rickettsia)	climat tempérés ou froid
borreliose		Pediculus	bactérie (Borrelia)	climat tempérés
maladie de Lyme	tiques	Ixodes	bactérie (Borrelia)	Amérique du Nord et Europe
fièvre hémorragique de			virus (Nairovirus)	Asie centrale et méditerranée
crimée-Congo				
fièvre pourprée			bactérie (Rickettsia)	cosmopolite, mais surtout aux Etats-Unis et au
Encéphalite à tiques			virus (Flaviviridae)	Mexique
theileriose			parasite (Theileria)	climat tempérés
Babesiose	simulies	simulium	parasite (Babesia)	cosmopolite
onchocercose			vers parasite (Onchocerca)	cosmopolite
				Bande tropicale

Une maladie vectorielle peut se propager de deux façons :

- Le vecteur peut **migrer en fonction du changement climatique**, en raison de conditions météorologiques plus ou moins favorables : température, hydrométrie...
- L'hyperconnectivité de notre monde et les déplacements très importants des populations** (tourisme, migrations et déplacements de population, conflits, sécheresse) **peuvent permettre au parasite/virus/bactérie de migrer** dans une zone jusque-là dépourvue de la maladie. Un cas importé peut ensuite générer une nouvelle chaîne de transmission. Le vecteur peut également profiter des déplacements humains pour franchir de nouvelles distances (transport par avion, bateau, véhicule) et atteindre une zone présentant des conditions favorables à sa multiplication⁴².

Leur épidémiologie dépend donc des vecteurs, des caractéristiques des agents infectieux et d'un ensemble de facteurs qui vont avoir un impact sur les aires de distribution des vecteurs, leur activité ainsi que les interactions entre les Hommes, les vecteurs et les réservoirs. Les études menées dans le cadre des projets européens EDEN et EDENext⁴³ ont néanmoins montré que chaque émergence

⁴² Eritja, R., Palmer, J.R.B., Roiz, D. et al. "Direct Evidence of Adult Aedes albopictus Dispersal" by Car. *Sci Rep* **7**, 14399 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12652-5>.

⁴³ EDEN (*Emerging Diseases in a changing European Environment*, 2004-2010) visait à étudier les effets des changements environnementaux sur l'émergence des maladies vectorielles. Dans la continuité, EDENext (Biology and control of vector-borne infections in Europe, 2011-2014) a eu pour objectif d'expliquer et modéliser les processus conduisant à l'introduction, l'établissement et la propagation des vecteurs et/ou des maladies vectorielles, ainsi que d'évaluer les stratégies de contrôle possibles pour rompre les cycles épidémiologiques de ces maladies. Ces projets ont été respectivement financés dans le cadre des sixième et septième programmes cadres européens (FP6 et FP7).

de maladie à transmission vectorielle résultait de déterminants socio-économiques et environnementaux propres. Les conséquences peuvent être hétérogènes au niveau géographique⁴⁴.

Tableau 3 - Principaux vecteurs et maladies susceptibles d'être transmises par ces vecteurs

Vecteurs		Principales maladies	
ARTHROPODES			
Insectes	Moustiques	Genre <i>Aedes</i>	Chikungunya Dengue Fièvre de la Vallée du Rift Fièvre jaune Zika
		Genre <i>Culex</i>	Encéphalite japonaise Fièvre à virus West Nile Filariose lymphatique
		Genre <i>Anopheles</i>	Paludisme
	Phlébotomes		Leishmaniose Fièvre pappataci (fièvre à phlébotomes)
	Glossines ou mouches tsé-tsé		Trypanosomiase africaine (maladie du sommeil)
	Simulies		Onchocercose ⁴⁵
	Taons		Filariose à Loa Loa
	Réduves et triatomes		Trypanosomiase américaine (maladie de Chagas)
	Puces		Peste Rickettsioses
	Poux de corps		Typhus épidémique Fièvre des tranchées Fièvre récurrente Peste
Arachnides acariens	Tiques	Encéphalites à tiques Fièvre hémorragique de Crimée-Congo Fièvre récurrente (borréliose) Maladie de Lyme Rickettsioses (fièvre pourprée et fièvre Q) Tularémie Maladie de la forêt de Kyasanur	
MOLLUSQUES			
Gastéropode d'eau douce	Schistosomes	Schistosomiase (bilharziose)	

Sources : OMS, Santé Publique France, Robert V. Introduction aux arthropodes nuisants, aux vecteurs et aux maladies à transmission vectorielle, in Duvallet G. et De Gentile L. (dir.), Protection personnelle antivectorielle, Marseille : IRD Editions, 2017.

2.2.4.1. L'importance des arthropodes d'intérêt médical et vétérinaire (AIMV)

Les arthropodes correspondent à un groupe d'animaux segmentés, recouverts d'un exosquelette. Plus de deux millions ont été identifiés à ce jour et seule une infime minorité pose un risque pour la santé humaine et vétérinaire. Les AIMV regroupent des arthropodes vecteurs d'agents pathogènes et/ou des arthropodes dits « nuisants », pathogènes par eux-mêmes. La notion de nuisance renvoie à la gêne occasionnée et est souvent fonction de la densité de ces arthropodes.

Certains arthropodes sont hématophages. Ils s'infectent au cours du repas sanguin à partir d'un hôte porteur de l'agent pathogène et peuvent ensuite le transmettre après un cycle extrinsèque de quelques jours au cours duquel l'agent se réplique ou se transforme. **Ces arthropodes peuvent de**

⁴⁴ Alexander N. et al. The impact of a decade (2004-2015) of research on vector-borne disease (EDEN / EDENnext). 2015.

⁴⁵ L'onchocercose constitue une exception parmi les maladies vectorielles. Les lésions occasionnées par des années d'exposition conduisent à la cécité, alors que pour la plupart des autres maladies une seule exposition à l'agent pathogène est suffisante.

fait être à la fois nuisants et vecteurs de maladies, voire être nuisants puis devenir en plus vecteurs en présence d'un agent infectieux, dans certaines circonstances (comme le *Aedes albopictus* avec l'introduction du virus du Chikungunya à la Réunion). Dans quelques cas, l'arthropode transmet la maladie sans nuisance apparente (borréliose). Il est à noter qu'une espèce d'arthropode peut n'être vecteur que dans une partie de son aire de distribution⁴⁶.

Les arthropodes vecteurs jouent un rôle prépondérant dans la transmission des maladies vectorielles, en particulier certains de la classe des insectes (moustiques, phlébotomes) ou de celle des arachnides (acariens). Ils vont transmettre des protozoaires, des helminthes, des bactéries, des rickettsies, ou des virus (les virus transmis par des arthropodes hématophages sont appelés arbovirus).

2.2.4.2. Moustiques du genre *Aedes* et arbovirus

Les principales maladies vectorielles transmises par les moustiques sont la dengue, la fièvre jaune, le paludisme, la maladie à virus Zika, le Chikungunya, la fièvre du Nil occidental (*West Nile*). Les moustiques se sont adaptés plus rapidement que prévu aux températures plus tempérées liées au réchauffement de l'atmosphère. D'autre part, leurs habitats peuvent s'établir dans à peu près tous les types d'eaux stagnantes. Les moustiques présentent une très grande adaptabilité et une résilience qui résultent d'une évolution de plus de 100 millions d'années, alors que l'Homme n'est présent sur terre que depuis moins de 5 millions d'années.

Le changement climatique entraîne une expansion des gîtes propices aux moustiques, chauds et humides. L'Europe, au même titre que d'autres parties du monde considérées jusqu'alors comme tempérées ou froides, devient ainsi de plus en plus accueillante pour les populations de moustiques, quelles que soient les espèces.

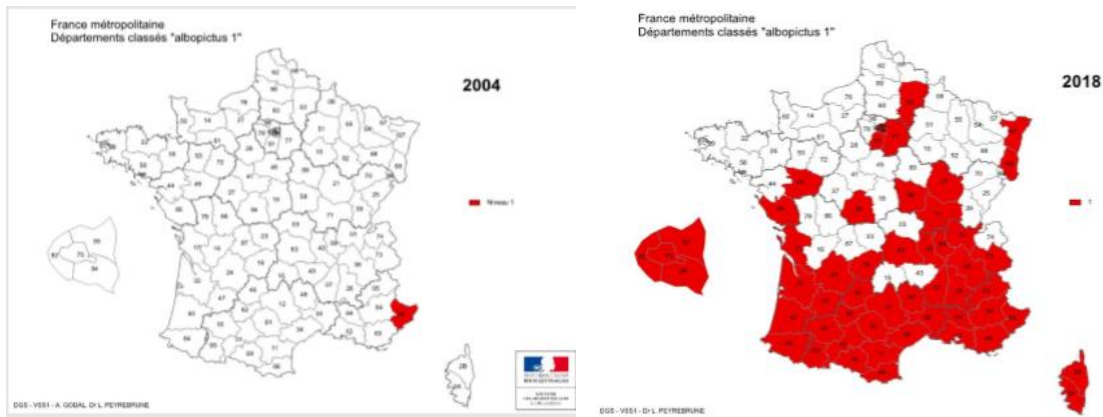
La fréquence plus importante des épidémies en Asie peut être reliée au caractère anthropophile (espèce de moustiques préférant infester l'humain plutôt que les animaux) des moustiques vecteurs en cause. En Europe, les données de surveillance montrent la présence et la progression de la répartition géographique des espèces invasives de moustiques associées à la transmission d'un certain nombre de ces maladies vectorielles.

Le suivi du genre *Aedes* permet de mettre en lumière la problématique de la migration des maladies vectorielles du fait du changement climatique ces dernières décennies. En vingt ans, ces moustiques ont migré de leur bassin naturel en Afrique de l'Est, d'abord vers l'océan Indien, l'Asie du Sud-Est puis vers l'Europe et les Amériques via les Caraïbes.

Deux espèces de moustiques, *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus*, sont plus particulièrement vecteurs de plusieurs maladies infectieuses dont la dengue, la fièvre jaune, le chikungunya et la maladie à virus Zika. *Aedes aegypti* est par exemple le principal vecteur de transmission de la maladie à virus Zika dans le monde. La possibilité de transmission de cette maladie par *Aedes albopictus*, le moustique tigre, a néanmoins été mise en évidence en Afrique et cette espèce est le principal vecteur associé aux flambées épidémiques récentes en Europe. **Dans le contexte du changement climatique, la diffusion en France et plus largement en Europe est particulièrement significative pour *Aedes albopictus*.**

⁴⁶ Robert V. « Introduction à l'entomologie médicale et vétérinaire », in Duvallet G., Fontenille D. et Robert V. (dir.), *Entomologie médicale et vétérinaire*. Marseille: IRD Editions, 2017.

Figure 4 - Un exemple, l'extension de l'implantation d'*Aedes albopictus* en France métropolitaine entre 2004 et 2018

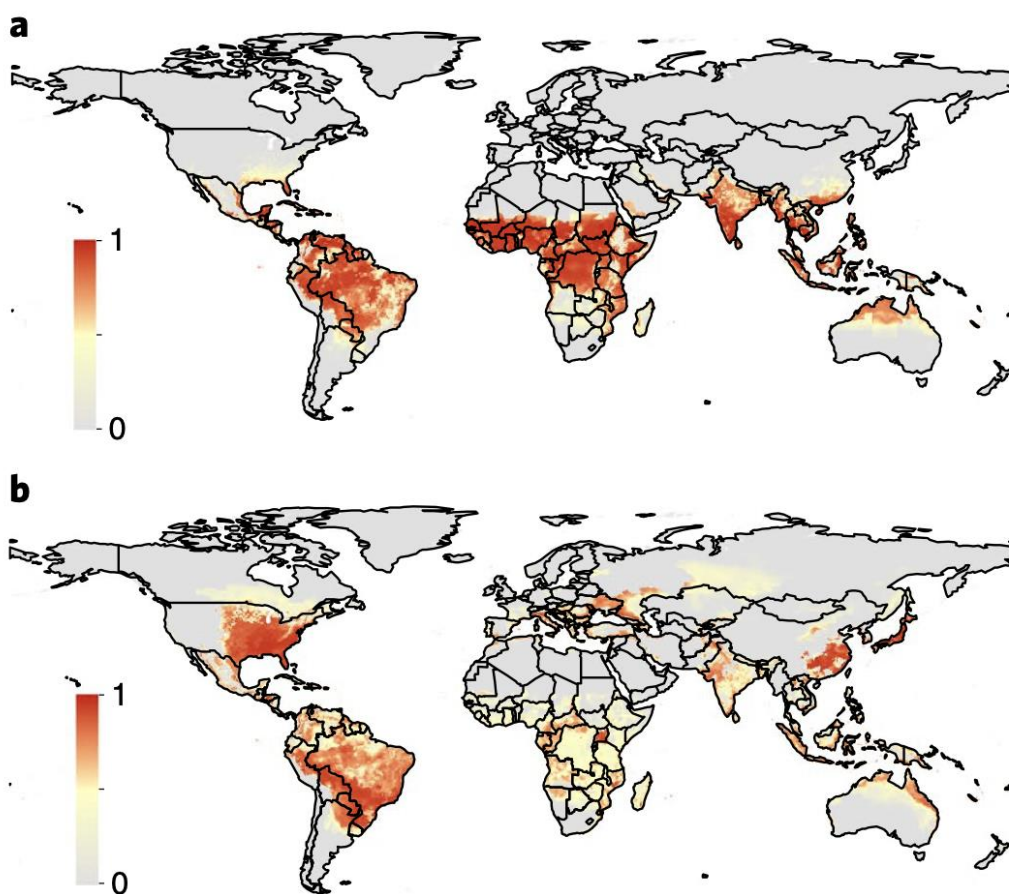


Source : Direction générale de la santé, Ministère des Solidarités et de la Santé, juin 2020.

L'évolution de la répartition géographique de ces espèces n'est pas monofactorielle. Le rôle des activités humaines⁴⁷ et la présence d'un climat propice sont systématiquement retrouvés. De fait, la propagation des espèces de moustiques, une fois introduite sur un nouveau territoire (par exemple, en Europe et aux États-Unis) suit les schémas des déplacement humains. La propagation de *Aedes aegypti* se caractérise par des importations à longue distance, tandis qu'*Aedes albopictus* se propage en suivant les franges de son territoire initial. Ce processus permet de prédire les distributions futures des deux espèces en réponse à l'accélération de l'urbanisation, de la connectivité et du changement climatique.

⁴⁷ Kraemer, M.U.G., Reiner, R.C., Brady, O.J. et al. "Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*". *Nat Microbiol* 4, 854-863 (2019).

Figure 5 - Répartition géographique mondiale prévue de a.) *Ae. aegypti* et b.) *Ae. albopictus* en 2050 selon le scénario climatique RCP 6.0⁴⁸

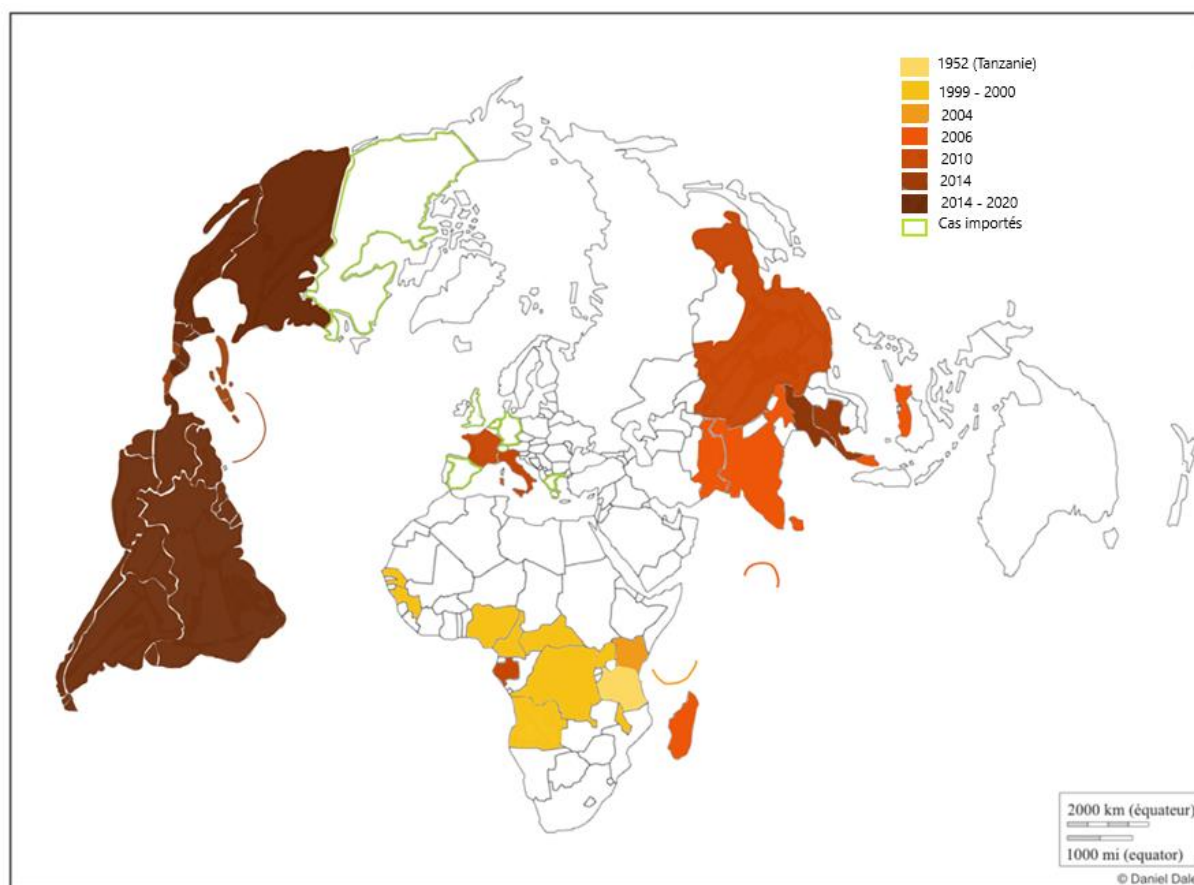


Source : Moritz U. et al. Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Nature Microbiology*. 2019;4:854-863.

La propagation du Chikungunya - entre 1999, où la maladie était localisée en Afrique équatoriale, et 2020, où elle est considérée comme « potentiellement cosmopolite » - illustre l'évolution de la répartition géographique des principaux vecteurs compétents.

⁴⁸ Scénario climatique médian qui suppose une utilisation des différentes sources énergétiques sans en privilégier une en particulier.

Figure 6 - Evolution de la répartition géographique du Chikungya entre 1952 et 2020



Source : OMS. Données compilées 1999-2020.

Le virus du Chikungunya est transmis à l'homme par la piqûre de l'*Aedes Albopictus* ou d'*Aedes Aegypti*. **Plusieurs mécanismes sont intervenus pour expliquer la propagation de ces vecteurs :**

- Les cycles forestiers, faisant intervenir des primates et des moustiques sylatiques, par exemple en Afrique,
- Les cycles essentiellement urbains qui impliquent les moustiques *Aedes aegypti* et *albopictus*, en particulier en Asie du Sud-Est, région du monde la plus urbanisée.

S'agissant de la dengue, le moustique *Aedes aegypti* transmet la maladie, qui est la pathologie vectorielle à la propagation la plus rapide. En 2016, la capacité vectorielle mondiale pour la transmission du virus de la dengue était la plus élevée jamais enregistrée, atteignant 9,1 % pour *Aedes aegypti* et 11,1 % pour *Aedes albopictus* au-dessus du seuil de référence des années 1950.

Aujourd'hui, la dengue est l'une des principales maladies virales transmises par les moustiques dans le monde. Entre 2012 et 2020, le nombre de cas estimé a été quasi multiplié par 8, passant de 50 millions d'infections à près de 390 millions en 2020⁴⁹. La dengue était présente dans une centaine de pays au début des années 2010, une décennie plus tard la pathologie a progressé dans 28 pays supplémentaires. Aujourd'hui, la moitié de la population mondiale est exposée à la dengue. La

⁴⁹ Bhatt S, Gething PW, Brady OJ, Messina JP, Farlow AW, Moyes CL et.al. "The global distribution and burden of dengue". *Nature*;496:504-507.

dengue sévit dans les régions tropicales et subtropicales⁵⁰ du monde entier, avec une prédilection pour les zones urbaines et semi-urbaines.

La dengue est particulièrement prévalente dans les villes de la bande tropicale et subtropicale, où une combinaison entre une abondance de zones de nidation de moustiques et une haute densité de population sont à l'origine d'un taux d'infection important. Le climat a également une forte influence, en combinaison avec les déterminants socio-économiques. Les fortes pluies causent des eaux stagnantes tandis que les sécheresses incitent à stocker l'eau au plus près des habitations, favorisant d'autant plus la nidification d'*Aedes aegyptis* et *albopictus*. Les températures urbaines, plus chaudes sous les tropiques, augmentent d'autant plus le taux de développement des deux moustiques vecteurs, et permettent une transmission virale plus importante. Il existe une corrélation entre la chaleur, l'humidité et la faiblesse du vent d'une part, et les épidémies⁵¹. Le changement climatique étant également un déterminant favorisant l'urbanisation galopante de la bande tropicale, un cercle vicieux s'installe.

Les précédents modèles de prévision d'implantation des *Aedes* ne prenaient en compte que le facteur climatique, mais il est aujourd'hui important de considérer le taux d'urbanisation et les facteurs socio-économiques, tant ceux-ci influent sur la présence d'habitat potentiel pour l'*Aedes* (présence d'eaux stagnantes).

2.2.4.3. Anophèles et paludisme

Le paludisme est une pathologie particulièrement sensible au climat. Elle est véhiculée par le moustique anophèle. D'après les estimations, l'impact du changement climatique pourrait entraîner 60 000 décès supplémentaires dus au paludisme entre 2030 et 2050⁵². **D'ici à 2050, le changement climatique exposera certaines zones d'Afrique subsaharienne, d'Amérique du Sud et de Chine à une probabilité accrue de transmission du paludisme.** En Afrique, la probabilité de transmission du paludisme est particulièrement élevée sur une grande partie des hauts plateaux, notamment à des altitudes supérieures à 1 500 m (tel que le plateau de Nairobi).

La propagation du paludisme est fortement influencée par les changements de températures, les précipitations, ainsi que par la fréquence et la gravité des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les cyclones. Un impact des phénomènes ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) sur la prévalence du paludisme et de la dengue a été mis en évidence. En effet, les pluies abondantes et vents violents balayent les sites de reproduction des vecteurs, mais les inondations qui s'ensuivent créent des conditions favorables à la multiplication de ces sites de reproduction. L'évolution des pratiques agricoles peut également jouer un rôle. L'augmentation du nombre de rizières en Afrique ces dix dernières années augmente le nombre de sites de reproduction et illustre la nécessité de prendre en compte les changements de pratiques agricoles. Au Rwanda, la présence de rizières a augmenté le risque paludique au cours de la dernière décennie. Enfin, les difficultés et retards affectant la distribution de moyens de prévention contre le paludisme tels que les moustiquaires ou les traitements antipaludéens contribuent à une recrudescence très importante de cas. D'autre part, en cas de déplacement de ces populations, on peut voir une migration du parasite dans des zones exemptes de paludisme auparavant. Dans ce contexte, la lutte contre le moustique Anophèle doit reposer sur une approche globale.

⁵⁰ <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>

⁵¹ https://www.who.int/dg/speeches/2012/climate_20121029/fr/

⁵² https://endmalaria.org/sites/default/files/Climate%20Change%20and%20Malaria_FR.pdf

2.2.4.4. Moustiques *Culex* et fièvre virus du Nil occidental.

Influencée par la température, les précipitations, l'humidité et le vent, la distribution du virus du Nil occidental se retrouve de fait favorisée par le changement climatique. Le cycle de transmission du virus du Nil occidental utilise plusieurs vecteurs intermédiaires non obligatoires. Il peut s'agir d'oiseaux, d'êtres humains, de chevaux et d'autres mammifères. Le vent, moyen de migration pour le moustique *Culex*, est aussi un facteur ayant un impact sur la propagation de la maladie par les tempêtes de vents qui vont dévier les oiseaux vecteurs⁵³ de leurs trajectoires habituelles et ainsi importer la pathologie dans de nouveaux territoires.

Le virus du Nil occidental a été identifié pour la première fois en 1999 aux États-Unis à New York. Il a depuis traversé le pays pour atteindre le Canada et l'Amérique centrale. En 2003, le virus est devenu endémique dans la plupart des régions tempérées d'Amérique du Nord. **En Europe, en particulier sur le bassin méditerranéen, et en Asie occidentale, les conditions plus chaudes sont en train de permettre l'établissement du virus du Nil occidental grâce à une expansion des aires de répartition et de l'abondance saisonnière des espèces vectorielles, et en augmentant directement les compétences en matière de transmission.** D'autre part, des précipitations plus abondantes sont à l'origine d'une augmentation des eaux stagnantes, potentiels lieux de nidation pour les moustiques du genre *Culex*.

2.2.4.5. Glossines (mouches Tsé-tsé) et maladie du sommeil

La maladie du sommeil sévit exclusivement dans 36 pays d'Afrique subsaharienne où sont retrouvées les mouches Tsé-tsé (Glossines) qui transmettent la maladie de la trypanosomiose humaine. Deux parasites transmettent cette maladie : *Trypanosoma brucei gambiense* et *Trypanosoma brucei rhodesiense*. La mouche tsé-tsé est un vecteur clef dans la transmission de la maladie du sommeil. Le parasite devient infectant pour l'homme seulement après le passage dans l'organisme de ce vecteur.

Les épidémies surviennent lorsque la température moyenne oscille entre 20,7°C et 26,1°C. Les modèles prospectifs ne prévoient pas une expansion, mais plutôt une modification importante de la répartition de la maladie, qui pourrait représenter 60 % de l'étendue géographique du parasite *Trypanosoma Brucei Rhodesiense*⁵⁴. En touchant des bassins de vie fortement peuplés, ce changement implique néanmoins une augmentation de 46 à 77 millions de personnes susceptibles d'être exposées à la maladie du sommeil.

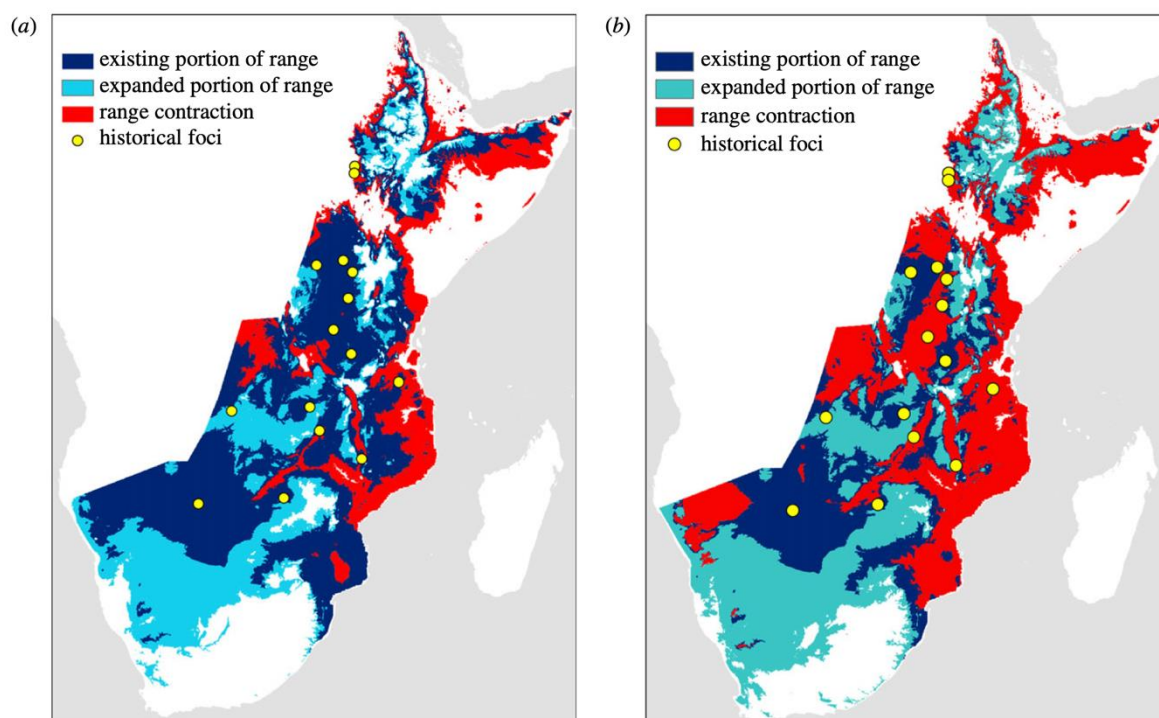
Le territoire de *Trypanosoma brucei Gambiense*, vecteur très présent en Afrique de l'Ouest au cours du XX^e siècle, s'est rétréci et se situe surtout en Afrique centrale, en particulier en République démocratique du Congo. En mai 2020, huit pays majoritairement en Afrique de l'Ouest remplissent les conditions nécessaires pour que la maladie du sommeil ne soit plus considérée comme endémique par l'OMS et soit retirée de leur liste des problèmes de santé publique (Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Ghana, Mali, Rwanda et Togo).

⁵³ Paz C. "Climate change impacts on West Nile virus transmission in a global context". *Phil. Trans. R. Soc. B.* 2015;370 :20130561.

⁵⁴ Moore S. et al. "Predicting the effect of climate change on African trypanosomiasis: integrating epidemiology with parasite and vector biology". *J R Soc Interface.* 2012;9(70):817-830.

Figure 7 - Évolution projetée de la répartition géographique de *Trypanosoma Brucei* Rhodesiense en 2055 (a) et en 2090 (b) selon le scénario A2⁵⁵

(les zones en bleu marine sont les zones représentant la distribution géographique actuelle de Tryp B.R, en rouge, les zones qui ne seront plus à risque de Tryp. B.R, et en bleu clair les nouvelles zones où Tryp. B.R sera présent)



Source : Moore S., Shrestha S., Tomlinson K. et Vuong H. Predicting the effects of climate on African trypanosomiasis : integrating epidemiology with parasite and vector biology. Journal of the Royal Society Interface. 2012;9:817-830.

2.2.4.6. Mouches noires (simulie) et onchocercose

Les mouches noires (simulie) sont les vecteurs de l'onchocercose, maladie des yeux et de la peau causée par un vers filaire, *Onchocerca volvulus*. Les mouches noires se reproduisent dans les cours d'eau agités dans la bande tropicale. 90 % des cas sont localisés en Afrique. La température minimale de l'eau pour le développement des stades immatures de *Simulium damnosum* s.l en Afrique de l'Ouest a été estimée à 20,1°C. Ainsi, à une température constante de l'eau de 30,0°C (environ 10°C au-dessus de t(0)), les mouches adultes émergeraient environ 9 jours après la ponte. Par comparaison, pour *Simulium damnosum* s.s, la température minimale requise au stade de l'œuf nécessite est 16,3°C. **L'augmentation des températures moyennes va permettre d'étendre leurs répartitions géographiques⁵⁶.**

2.2.4.7. Punaises (réduves) et maladie de Chagas

La maladie de Chagas est une anthroponose due à *Trypanosoma cruzi*. Elle est transmise par l'intermédiaire des déjections de punaises hématophages (triatomes) de la famille des *Reduviidae*, déposées sur la peau ou les muqueuses lors d'un repas sanguin. Il existe également un important réservoir animal (mammifères sauvages et domestiques).

⁵⁵ Selon ce scénario, le monde évolue de manière très hétérogène, la croissance économique et la pénétration de nouvelles technologies énergétiquement efficaces sont très variables selon les régions

⁵⁶ Checke R. et al. "Potential effects of warmer worms and vectors on onchocerciasis transmission in West Africa". *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2015;370(1665):20130559.

La maladie de Chagas est endémique en Amérique latine, depuis le Mexique jusqu'en Argentine. L'association entre l'augmentation des températures et les migrations humaines dans le sud des États-Unis est responsable d'une augmentation du nombre de cas de la maladie de Chagas en Amérique du Nord où la maladie est récemment devenue autochtone. Des cas importés ont également été notifiés en Europe, Asie et Océanie.

Le changement climatique implique un changement de comportement du vecteur pour s'adapter aux nouvelles conditions, autant en termes de température que d'hydrométrie. Les punaises vont avoir tendance à se nourrir plus souvent pour éviter la déshydratation lorsque les températures sont supérieures à 30°C et les niveaux d'humidité bas⁵⁷. **Il a également été constaté que lorsque la température intérieure augmente, les punaises peuvent avoir des cycles de vie plus courts, ce qui entraîne une augmentation de la densité de la population et donc des risques de propagation de la maladie.** L'hypothèse d'un développement plus rapide de *Trypanosoma cruzi* chez certains hôtes vecteurs lorsque les températures augmentent sont actuellement à l'étude⁵⁸.

2.2.4.8. Poux et tiques, vecteurs de nombreuses maladies

Les poux et tiques sont vecteurs de nombreuses maladies.

Les tiques transmettent entre autres la maladie de Lyme, la fièvre hémorragique de Crimée-Congo, les fièvres pourprées, l'encéphalite à tiques, la theilériose et la babésiose. Le cycle de vie des tiques dépend de facteurs climatiques comme l'humidité et la température de l'environnement. Dans les décennies à venir, la hausse des températures de 2°C devrait augmenter de 20 % le nombre de cas de Lyme⁵⁹. Dans les zones tempérées, les tiques responsables de cette maladie, initialement localisées sur la côte Nord-Est du continent nord-américain, viennent d'être reconnues comme autochtones sur le continent européen, en particulier en France, en Suisse et en Belgique, mais également dans les pays aux abords de la mer Baltique.

Les borrélioses tropicales transmettent par la tique, longtemps méconnues, car longtemps confondues avec le paludisme, sont retrouvées également en Afrique sahélienne. Les tiques responsables de la transmission de ces maladies sont retrouvées dans les régions où la pluviométrie moyenne est inférieure à 750 mm. **La modification de la pluviométrie dans la bande sahélienne va donc avoir une incidence sur la répartition géographique.**

Les poux transmettent quant à eux le typhus exanthématique et la borréliose, respectivement causés par des rickettsies et, comme les tiques, des bactéries du genre *Borrelia*. Ils sont surtout présents sous des climats tempérés ou froids. **Malgré l'arrivée de parasites tropicaux, l'Europe occidentale et les abords du golfe du Mexique, deux régions où la richesse en espèces parasitaires est parmi les plus fortes au monde, verraient cette diversité fortement diminuer du fait de l'augmentation des températures moyennes.** Pour autant, les incertitudes qui subsistent s'agissant des conséquences du changement climatique ne permettent pas d'évaluer l'impact sur le risque de transmission (c'est-à-dire sur le comportement de recherche d'un hôte par le parasite ou sur les schémas de précipitations régionaux, qui peuvent avoir une incidence sur la survie des parasites et

⁵⁷ Short, Erica E et al. "Climate Change Contribution to the Emergence or Re-Emergence of Parasitic Disease"s. *Infectious diseases*. 2017;10:1178633617732296.

⁵⁸ Asin S. et Catala S. "Development of *Trypanosoma cruzi* in *Triatoma infestans*: influence of temperature and blood consumption". *The Journal of Parasitology*. 1995;81(1):1-7.

⁵⁹ Dumić I. et Severin E. "Ticking Bomb": The Impact of Climate Change on the Incidence of Lyme Disease". *Canadian Journal of Infectious diseases and Medical Microbiology*. 2018; Article ID 5719081.

sur ce comportement de recherche)⁶⁰. À l'inverse, les zones plus septentrionales la verront exploser, avec un nombre d'espèces qui pourrait tripler. Les poux vecteurs des fièvres récurrentes sont quant à eux présents principalement en Éthiopie, en Chine du Nord et en Amérique du Sud.

2.2.5. Maladies d'origine hydrique

Les maladies liées à l'eau représentent un vaste éventail de pathologies :

- Celles dues à l'ingestion d'eau contaminée par des micro-organismes (maladies diarrhéiques) ;
- Celles dont une partie du cycle de vie est subaquatique (Schistosomiase) ;
- Celles impliquant des vecteurs hydriques (Paludisme, dengue).

Remarque : certaines de ces maladies ont été traitées dans le cadre des maladies à transmission vectorielle, comme la dengue, le paludisme ou l'onchocercose.

2.2.5.1. Vibrioses

L'émergence de la vibriose (causée par des bactéries du genre *Vibrio* non cholériques) a été détectée autour de la mer Baltique dans les années 1990. **La vibriose est une maladie à déclaration obligatoire.** Si elle entraîne souvent des infections gastro-intestinales bénignes, elle peut être à l'origine d'infections graves comme la fasciite nécrosante. Les premiers cas de vibriose sont apparus en Suède en 2004. **Depuis lors, le nombre de cas est plus important lors des années les plus chaudes. Un lien étroit a été établi entre la température de l'eau en surface et l'incidence de la vibriose en Scandinavie.** La mer Baltique est en effet un terrain d'infection idéal, car elle a une faible salinité et les bactéries peuvent s'y épanouir lors de la saison chaude.⁶¹

S'agissant du choléra, il existe deux sérogroupes de *Vibrio cholerae*, O1 et O139, tous deux à l'origine des flambées épidémiques. La majorité des flambées récentes sont dues à *V. cholerae* O1. *V. cholerae* O139, identifié pour la première fois au Bangladesh en 1992, a provoqué des flambées dans le passé, mais n'est désormais plus identifié que dans des cas sporadiques et demeure confiné à l'Asie du Sud-Est.

Les principaux réservoirs de *V. cholerae* sont l'être humain et les milieux aquatiques, de préférence les eaux saumâtres et chaudes comme les estuaires et certaines zones côtières. La transmission par voie orale est d'origine fécale, par des mains souillées ou ingestion d'aliments ou d'eau contaminés. *Vibrio cholerae* se développe et est à l'origine de contamination préférentiellement dans les zones à l'accès précaire à l'eau potable et/ou aux infrastructures sanitaires. **Les pays affectés par des catastrophes naturelles se retrouvent ainsi confrontés à une augmentation du risque de survenue d'épidémie de choléra.**

La maladie est présente dans les zones à risque comme les bidonvilles périurbains, qui ne disposent d'aucune infrastructure de base, ou les camps de réfugiés ou de personnes déplacées, où les besoins minimum en eau potable et en assainissement ne sont pas assurés.

Selon des études récentes, le changement climatique crée un environnement favorable au vibriion cholérique en augmentant la fréquence des pluies diluviennes, des inondations et des

⁶⁰ Eisen R., Eisen L., Ogden N. et Beard C. "Linkage of weather and climate with Ixodes scapularis and pacificus (Acari : Ixodae), enzoonotic transmission Borrelia burgdorferi, and Lyme disease in North America". *Journal of Medical Entomology*. 2016;53(2):250-261.

⁶¹ Semenza et al. "Environmental suitability of vibrio infections in a warming climate : an early warning system." *Environmental Health Perspectives*. 2017 ;125(10) :107004.

périodes de sécheresse qui compromettent la qualité de l'eau et de l'hygiène des aliments.

Des travaux de recherche ont ainsi pu mettre en évidence une relation entre différents paramètres liés aux variations climatiques et l'émergence du choléra au Bangladesh, en Amérique du Sud et en Afrique de l'Ouest. La prolifération du zooplancton qui héberge *Vibrio cholerae* suit celle du phytoplancton dont la croissance est directement liée aux variations climatiques. Il semble qu'il y ait une forte corrélation entre l'apparition de foyers épidémiques et deux variables, le régime annuel des précipitations et l'*Indian Oscillation Indice* (IOI), indice de variation climatique au-dessus des zones maritimes. L'influence indirecte de ces conditions climatiques sur l'émergence de foyers infectieux peut d'ailleurs se prolonger au-delà d'un cycle annuel, sur plusieurs années⁶².

2.2.5.2. Trématodes du genre *Schistosoma*

Les trématodes du genre *Schistosoma* sont des vers parasites chroniques qui provoquent la schistosomiase ou bilharziose. L'infection se produit lorsque les larves du parasite, libérées par des gastéropodes d'eau douce, pénètrent dans la peau d'une personne en contact avec une eau infestée (baignade). La transmission se produit quand les gens souffrant de schistosomiase contaminent les sources d'eau douce avec leurs excréments. La zone de prévalence des schistosomiasés se situe dans les régions tropicales et subtropicales, notamment lorsque les conditions d'accès à l'eau potable et d'assainissement sont mauvaises. *S. mansoni* (intestinal) et *S. haematobium* sont ainsi présents par exemple en Afrique subsaharienne.

Il convient néanmoins de noter que, sur le territoire national, en métropole, est apparue une bilharziose urogénitale. Un foyer de transmission locale a été mis en évidence en Corse-du-Sud (110 cas depuis 2014)⁶³.

Les observations semblent indiquer que le changement climatique pourrait entraîner, dans certaines régions, une extension de l'aire de distribution géographique de la schistosomiase et dans d'autres, un déplacement de cette aire de distribution. Les variations climatiques ont un impact à la fois sur la distribution des gastéropodes et sur la maturation des stades intermédiaires du parasite dans cet hôte, rendant les projections complexes⁶⁴. Il est ainsi difficile d'évaluer le potentiel de transmission de la schistosomiase en différents endroits, étant donné la relation non linéaire entre la température de l'eau et la transmission des schistosomes⁶⁵. Les conséquences en termes de transmission dépendront, dans une large mesure, de la capacité des parasites et des escargots à s'adapter ou à se déplacer.

Aujourd'hui, les données disponibles portent principalement sur la Chine et l'Afrique de l'Est. Une comparaison entre les aires géographiques actuelles et les limites thermophysiologiques des deux principales espèces de schistosomes africains (*Schistosoma haematobium* et *S. mansoni*) a montré que les deux espèces existent déjà sur les franges de leurs niches thermophysiologiques⁶⁶. En termes de saisonnalité, en modifiant le rythme des saisons des pluies, le changement climatique augmente le nombre de cas apparus, en favorisant des pluies plus abondantes dans les régions tropicales. L'augmentation de la température de surface au niveau des zones maritimes côtières entraîne

⁶² Les variations climatiques influencent l'émergence du choléra en Afrique. Groupe IRD. 2007.

⁶³ <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-transmission-vectorielle/bilharziose-urogenitale/la-maladie/#tabs>

⁶⁴ Yang G-J. Potential impact on climate change on schistosomiasis : a global assessment attempt. *Tropical Medicine and Infectious Disease*. 2018;3(4):117.

⁶⁵ McCreesh N., Nikulin G., et Booth M. Predicting the effects of climate change on *Schistosoma mansoni* transmission in Eastern Africa. *Parasites and Vectors*. 2015;8:4.

⁶⁶ Stensgaard AS, Vounatsou P, Sengupta ME, Utzinger J. "Schistosomes, snails and climate change: Current trends and future expectations". *Acta Trop*. 2019;190:257-268. doi:10.1016/j.actatropica.2018.09.013

également une augmentation des cas. A contrario, la Chine, par exemple, devrait connaître une extension sensible de sa zone d'endémie de la schistosomiase.

2.2.6. Autres maladies infectieuses : l'exemple des méningites

Un schéma saisonnier clair a été identifié dans la survenue des cas de méningites. Elle est en effet associée aux périodes de l'année au cours desquelles il y a une augmentation des concentrations en poussière concomitante à une réduction des niveaux humidité liée aux mouvements de convergence de la bande tropicale. De plus, la maladie est liée aux précipitations et aux vents secs d'harmattan (un alizé continental). Par conséquent, la maladie sévit particulièrement dans la zone subsaharienne lors de la saison sèche, de décembre à mai. Bien que l'association temporelle entre le climat et la méningite soit évidente, les facteurs impliqués dans le déclenchement, le déclin ou la fin d'une épidémie n'ont pas encore été identifiés. Une des hypothèses se fonde sur le fait que l'air sec, chaud et poussiéreux pourrait provoquer des irritations des muqueuses respiratoires et ainsi faciliter l'infection⁶⁷.

L'augmentation des températures moyennes et l'allongement de la période sèche, associées au changement climatique augmentent la saisonnalité temporelle de la méningite ainsi que sa répartition géographique.

2.2.7. La Maladie X

En février 2018, l'**Organisation mondiale de la santé (OMS) a placé la « maladie X » dans la liste des pathologies pouvant potentiellement causer un "danger international"**. L'ajout de cette « maladie X » avait pour but de veiller à ce que la communauté internationale en santé soit prête à répondre à toutes les formes de menaces, prévisibles et imprévisibles. Le concept de « maladie X » a pris tout son sens avec la détection et la propagation de la Covid-19 au début de l'année 2020. Cependant le risque d'émergence d'une nouvelle « maladie X » demeure.

2.2.8. Les risques sanitaires liés à la fonte du pergélisol⁶⁸

Le réchauffement de l'atmosphère dans la région de l'Arctique entraîne progressivement une modification considérable de la répartition de la faune et de la flore⁶⁹. Entre 1955 et 2000, la température annuelle moyenne de l'air a par exemple augmenté de 1,2°C dans le nord de la Russie, tandis que la température moyenne de la couche supérieure du pergélisol (ou permafrost) a augmenté de 3°C. **Chaque été, une couche superficielle de ce pergélisol qui représente 25 % des terres de l'hémisphère nord décongèle sur à peu près 50 cm et relargue ainsi dans la nature d'anciens bactéries et virus. Ces agents pathogènes, soumis au dioxygène et aux UV, sont neutralisés très rapidement par l'environnement s'il n'y a pas de rencontres avec un hôte compétent.**

L'augmentation concomitante des températures et des précipitations est considérée comme le principal facteur susceptible d'être à l'origine d'une augmentation du risque d'émergence ou de réémergence de maladies infectieuses, en particulier zoonotiques, dans des régions où elles n'étaient pas présentes. A ces facteurs, il faut aussi ajouter l'intensification des activités humaines (navigation commerciale, extraction minière, gazière et pétrolière) dans des zones que le

⁶⁷ Organisation mondiale de la santé et Organisation météorologique mondiale. *Atlas de santé et du climat*. 2012.

⁶⁸ Couche du sol dont la température reste en dessous de zéro pendant au moins deux ans.

⁶⁹ Revich B., Tokarevich N, et Parkinson A. "Climate change and zoonotic infections in the Russian Arctic." *Int J Circumpolar Health*. 2012;71:18792.

changement climatique rend désormais plus facilement accessibles aux Hommes. Après une diminution des enjeux politiques associés à une forte présence humaine dans la région à la fin de l'Union soviétique, cette région revêt désormais de nouveau une importance stratégique en raison des évolutions liées au changement climatique et aux tensions géopolitiques. Avec la mise en place de villes champignons abritant des milliers de personnes autour des sites d'extraction, le risque d'une rencontre entre les êtres humains et les virus augmente.

Les zones forestières ont progressé en remontant vers le nord, permettant la migration d'espèces d'oiseaux et de mammifères qui n'avaient jusque-là pas été observées dans ces zones et impliquées dans les cycles de transmission de certaines maladies infectieuses. Parmi celles dont la survenue est susceptible d'être favorisée par ces modifications figurent entre autres les encéphalites à tiques, la fièvre Q, la tularémie, la leptospirose, la pseudotuberculose ou des fièvres hémorragiques avec syndrome rénal⁷⁰.

Ces événements climatiques sont également susceptibles de mettre à jour de vieux sites d'enfouissement de carcasses d'animaux contaminés par la maladie du charbon, en particulier en Sibérie, avec un risque de dissémination de spores du bacille. Ces spores peuvent alors être ingérées par des animaux qui vont ensuite pouvoir transmettre la maladie aux êtres humains en contact (par manipulation de produits d'origine animale ou ingestion de viande mal cuite)⁷¹.

En 2016, en Sibérie, environ 1 500 rennes ont ainsi été décimés par la maladie du charbon. Au moins 23 personnes ont été infectées, entraînant le décès d'un enfant. La détection de *Bacillus anthracis* a conduit les autorités russes à imposer l'état d'urgence dans la région et à mener une campagne de vaccination des rennes (la vaccination avait été interrompue il y a une dizaine d'années). Des centaines d'intervenants et de soldats ont été déployés afin de lutter contre la propagation de la maladie. Les habitants ont été déplacés et soumis à des procédures sanitaires. **Les mesures mises en œuvre incluent la vaccination des rennes, la vaccination de la population et l'administration d'antibiotiques, une désinfection de la zone et l'incinération des carcasses.** *B. anthracis* n'avait pas été détectée en Sibérie depuis 1941, mais la région a été soumise à une vague de chaleur sans précédent, la température ayant atteint 35°C en juillet 2016, ce qui a entraîné la fonte du pergélisol. Des chercheurs ont émis l'hypothèse que la décongélation d'une carcasse de renne contaminée il y a des décennies pourrait être à l'origine de ces cas.

Ce type d'incident risque en effet de se répéter. Le directeur adjoint de l'Institut central de recherche en épidémiologie russe, Viktor Maleyev, a rappelé à l'occasion de cet épisode qu'il y avait aussi des tombes de varioleux dans le Grand Nord. Or **la variole, réputée éradiquée et dont la vaccination a été abandonnée en conséquence, fait partie des agents de la menace biologique.**

Enfin, le dégel du pergélisol a permis de découvrir des virus « géants » dans des échantillons de sol gelé⁷². Les effets de ces virus restent encore méconnus. Après les *Megaviridae* (2003), les *Pandoraviridae* (2013), *Pithovirus sibericum* (2014), les chercheurs ont mis en évidence *Mollivirus sibericum* en 2015. **Ils ont souligné à cette occasion que cette découverte montrait la capacité de survie dans le pergélisol, sur de très longues périodes, de familles virales aux stratégies de réplication très diverses.** Le changement climatique combiné aux activités humaines telles que l'extraction gazière et pétrolière risque de permettre une rencontre de virus aujourd'hui "disparus"

⁷⁰ Waits A, et al. "Human infectious diseases and the changing climate in the Arctic". *Environ Int.* 2018;121;703-713.

⁷¹ Revich BA, Podolnaya MA. "Thawing of permafrost may disturb historic cattle burial grounds in East Siberia". *Global Health Action.* 2011;4:8482.

⁷² Legendre M. et al. "In-depth study of *Mollivirus sibericum*, a new 30,000-y old giant virus infecting *Acanthamoeba*". *PNAS.* 2015 ;112(38):E5327-5335.

avec une humanité immunologiquement non compétente. Quelques particules virales pourraient ainsi être suffisantes à la réémergence de virus potentiellement pathogènes, en présence d'un hôte adapté⁷³.

2.3. Situations d'urgence et conséquences des événements climatiques extrêmes

Les catastrophes naturelles jalonnent l'histoire depuis toujours, cependant ces dernières décennies, on constate une augmentation de leur fréquence ainsi que leur intensité.

Cyclones, ouragans, sécheresse, canicule, pluies diluviennes, inondations, tempêtes ont vu leur nombre et leur intensité progresser de façon significative depuis les années 1980. Selon le GIEC (Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), il s'agit d'une conséquence directe du changement climatique, à travers l'augmentation des températures du sol et des masses maritimes. Neuf catastrophes sur dix sont liées au climat et au cours des dix prochaines années leur nombre ne devrait que croître. La moyenne annuelle depuis 1990 est de 615 catastrophes naturelles.

L'augmentation de la population vivant dans les régions côtières augmente le nombre de personnes touchées par l'élévation du niveau des mers et océans et par les inondations et les destructions liées aux phénomènes météorologiques très violents sur les côtes. Plus de 60 % de la population mondiale vit ainsi dans une zone côtière, ce qui représente 3,8 milliards de personnes résidant à moins de 150 km du rivage d'après l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature)⁷⁴. La hausse du niveau des océans pourrait entraîner d'ici 2100 le déplacement de 280 millions de personnes dans le monde, et ce dans l'hypothèse optimiste où le réchauffement de l'atmosphère serait limité à 2°C par rapport à l'ère préindustrielle⁷⁵.

2.4. Impact sur certaines maladies et affections non transmissibles

2.4.1. Autres maladies

En termes de santé publique, le changement climatique est souvent considéré sous l'angle de l'influence sur les maladies, en particulier vectorielles et hydriques, ou encore des traumatismes physiques ou psychologiques résultant de l'exposition à des phénomènes extrêmes tels que des inondations, tempêtes ou feux de forêt. **Si les services d'urgence, de maladies infectieuses ou de parasitologie sont impliqués en premier lieu, les recherches montrent néanmoins que quasiment toutes les spécialités sont désormais concernées.**

Les effets du changement climatique induiraient ainsi entre autres des conséquences en :

- **Pneumologie.** L'augmentation de la pollution atmosphérique et l'extension de la période de circulations des pollens favoriseraient asthmes, allergies et bronchopneumopathies obstructives.

⁷³ Institut de microbiologie de la Méditerranée, CNRS. *Un nouveau virus géant découvert dans le permafrost sibérien* (Communiqué de presse). 7 septembre 2015.

⁷⁴ Cité par l'Observatoire du littoral (INSEE, SOeS) dans son dossier *Démographie et économie du littoral* (2009), p. 2 <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1379044>

⁷⁵ https://www.francetvinfo.fr/meteo/climat/rechauffement-climatique-la-montee-des-eaux-pourrait-faire-280-millions-de-deplaces-selon-le-giec_3595399.html

- **Dermatologie.** Les experts craignent que l'allongement des périodes chaudes et ensoleillées n'incite les gens à s'exposer plus longtemps, avec le risque qu'il n'y ait un accroissement du nombre de cas de cancers de la peau.
- **Cardiologie.** Les fluctuations de la température externe pourraient potentiellement conduire à une augmentation du nombre d'attaques cardiaques.
- **Gynécologie-obstétrique et pédiatrie.** Les vagues de chaleur pouvant contribuer à la naissance d'enfants prématurés, de petit poids, voire mort-nés.
- **Néphrologie.** Les épisodes de chaleur intense peuvent entraîner une déshydratation et des pertes liquidiennes. Le changement climatique, associé à une augmentation des épisodes de stress hydrique, pourrait ainsi faire partie des facteurs contribuant à la survenue de cas d'une maladie chronique rénale d'étiologie inconnue (CDKu) qui finit par entraîner une insuffisance rénale. Elle affecte principalement des fermiers entre 30 et 50 ans dans différents points du globe (Amérique centrale, Inde, Sri Lanka, Égypte, etc.).
- **Endocrinologie.** Le changement climatique a vraisemblablement une incidence sur le diabète de type 2 en favorisant l'obésité (par son action sur les tissus adipeux bruns et le métabolisme du glucose) d'une part et la malnutrition d'autre part (par son impact sur les ressources alimentaires).

2.4.2. Impact sur la santé mentale

Le changement climatique implique un changement de contexte et d'environnement immédiat. La tradition et la culture locale s'en trouvent menacées et, dans certains cas, en viennent à ne plus être adaptées au principe de réalité. Cela implique un changement de comportement qui touche à l'essence même de la vie d'un individu. Ce qui a été transmis des générations durant n'est plus applicable, voire devient délétère. Il peut s'agir du lieu de vie, de l'habitat qui se trouve menacé, ou encore des moyens de subsistance, voire les deux. Que les effets surviennent insidieusement (succession d'épisodes de sécheresse, inondations...) ou de manière brutale (événement climatique extrême), ils créent une rupture dans l'histoire familiale. Il faut alors parfois partir en sachant qu'il n'y a de toute façon rien à sauver... si ce n'est sa vie.

En mettant à mal un mode de vie séculaire, le changement climatique augmente la charge anxieuse quotidienne (comment trouver de quoi manger, aller chercher de l'eau de plus en plus loin, est-ce que la côte va s'écrouler sous la montée des eaux...). Cette charge anxieuse est majoritairement portée par les femmes qui vont voir augmenter leurs charges mentales par ailleurs déjà importantes. La résilience se nourrit de l'espoir qui parfois disparaît pour faire place à un syndrome anxio-dépressif.

Le syndrome de stress post-traumatique (SSPT) intervient surtout dans les situations aiguës, par exemple dans le contexte de catastrophes naturelles ou d'un conflit, aux effets exacerbés par la sécheresse / des difficultés d'accès à l'eau / l'insécurité alimentaire..., en particulier lorsque ces événements surviennent sur la route de l'exil.

La problématique des troubles mentaux est celle de leur pérennité. C'est la reconstruction de leur vie qui permettra aux patients de retrouver une santé mentale correcte. Cette problématique doit donc être considérée avec une temporalité à moyen et long terme.

3. CONSEQUENCES POTENTIELLES POUR LE MINISTRE DES ARMÉES D'UN POINT DE VUE SANITAIRE, OPERATIONNEL ET ORGANISATIONNEL



Mobilisation des armées à la suite de l'ouragan Irma
(2017) © Jean-Luc Brunet / Armée de l'Air / Défense

Dans ce contexte, mieux appréhender les conséquences sanitaires du changement climatique en les déclinant en fonction des catégories de personnels, des activités et missions représente un véritable enjeu pour le ministère des Armées. Il est ainsi nécessaire de décliner l'analyse en fonction des métiers de la défense et de leurs contraintes spécifiques, ainsi que de la localisation géographique, sur le territoire national – en métropole ou dans les DROM-COM – ou hors des frontières, dans le cadre de déploiements opérationnels incluant le positionnement des forces de souveraineté et de présence, ainsi que les zones d'opérations extérieures.

3.1. Perspectives d'évolution des risques en France métropolitaine et dans les DROM-COM

La métropole française se trouve en zone tempérée, au carrefour de trois climats : méditerranéen, continental et océanique. L'impact du changement climatique prend de multiples formes.

3.1.1. Elévation des températures et intensification des vagues de chaleur

En France métropolitaine, l'effet le plus notable par la population est la récurrence des vagues de chaleur (2003, 2006, 2015 et toutes les années depuis lors). 2019⁷⁶ s'est classée troisième année la plus chaude depuis le début du XX^e siècle derrière 2018 et 2003. Les périodes de canicule entraînent une surmortalité chez les personnes vulnérables (c'est-à-dire les personnes âgées, handicapées). Les risques principaux sont la déshydratation et le coup de chaleur, avec un impact important sur la diminution du travail en extérieur pendant les heures les plus chaudes de la journée.

Afin de pouvoir affiner les observations liées au changement climatique, les chercheurs de Météo-France produisent des simulations régionales fines focalisées sur la France métropolitaine et les outre-mer, avec des résolutions allant de 8 à 50km. Les projections climatiques régionalisées produites par les laboratoires français sont mises à disposition via le portail « DRIAS, les futurs climats »⁷⁷. Le rapport Jouzel (2014) présente différents scénarios de changement climatique pour la France, jusqu'en 2100⁷⁸.

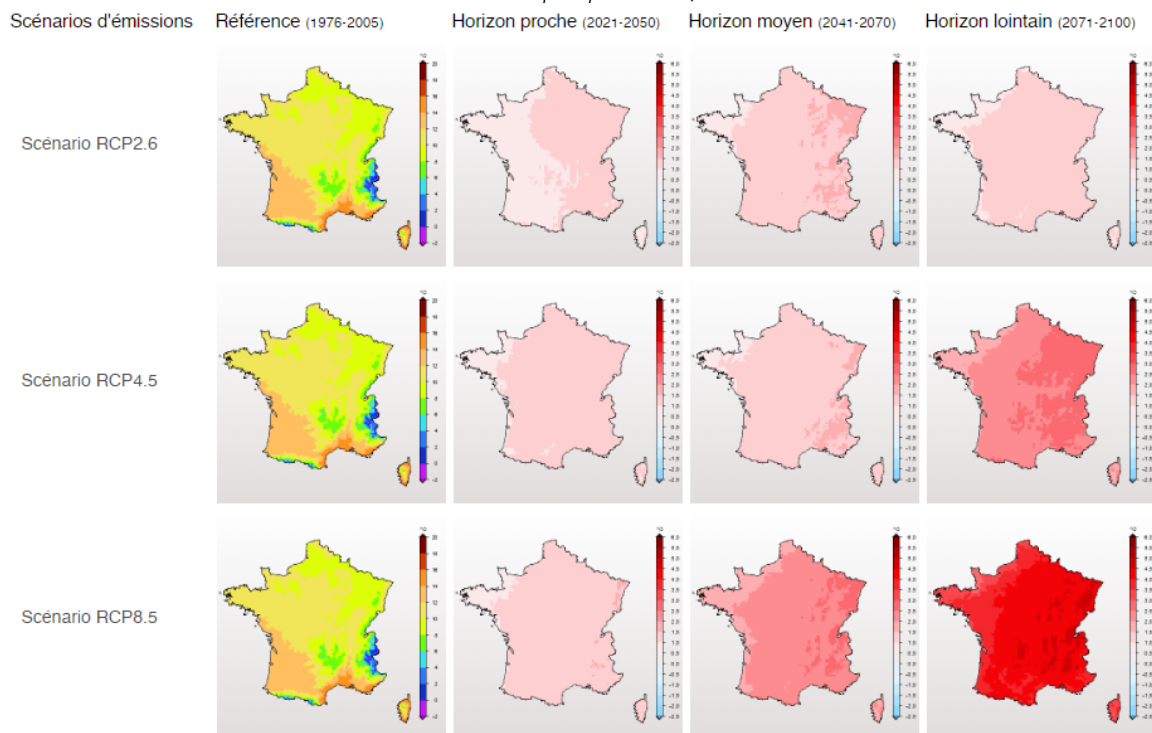
⁷⁶ <http://www.meteofrance.fr/actualites/78251648-france-2019-au-3e-rang-des-annees-les-plus-chaudes>

⁷⁷ <http://www.drias-climat.fr/>

⁷⁸ Jouzel J. (dir.), Ouzeau G., Déqué M., Jouini M., Planton S., et Vautard R. *Le climat de la France au XXI^e siècle. Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer*. Août 2014.

Figure 8 - Trois scénarios d'évolution de la température à 2m en moyenne annuelle, simulés par un modèle régional

(RCP2.6 prenant en compte la mise en œuvre de mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre et RCP8.5 étant le plus pessimiste)



Source : <http://www.drias-climat.fr/decouverte/parcours/neo/temperature/carte>

D'après ces projections, une augmentation de température comprise entre 1°C et 2°C est attendue pour le milieu du XXI^e siècle pour les régions d'influence Atlantique et méditerranéenne, et entre 2°C et 3°C pour les régions plus continentales. A la fin du siècle, si le scénario le plus pessimiste devait se réaliser, l'augmentation moyenne pourrait atteindre 3°C à 4°C pour la façade nord-ouest et 4°C à 5°C pour le reste du territoire.

L'augmentation des températures s'accompagnera d'une diminution du nombre de jours de gel et une augmentation du nombre de journées chaudes, ainsi que de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur, en particulier dans les régions du Sud-Est du pays. Il y aurait par ailleurs peu de modifications s'agissant des précipitations annuelles, avec cependant des contrastes saisonniers et régionaux (renforcement des précipitations extrêmes dans certaines zones). L'assèchement des sols devrait devenir plus marqué quelle que soit la saison, favorisant le ruissellement en cas de précipitation. Sécheresses et inondations devraient alors devenir plus fréquentes. A la suite de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses sur le sol français, les conditions météorologiques deviendront ainsi de plus en plus favorables à la survenue de feux de forêts et de broussailles.

La flore et la faune commencent à effectuer une transition qui n'est pas encore aboutie. Ainsi, les espèces endémiques locales meurent des conséquences des sécheresses, tandis que les espèces plus méridionales n'ont pas les capacités de résister aux gels de l'hiver encore présents.

En outre-mer (pour les Antilles, la Polynésie française, la Réunion et la Nouvelle Calédonie) en l'absence de mise en œuvre de mesures correctrices, les températures pourraient atteindre jusqu'à 3,5°C de plus (scénario le plus défavorable - RCP8.5), tandis qu'il y aurait une diminution des précipitations, en particulier durant la saison sèche. La fréquence des cyclones tropicaux pourrait

rester similaire voire diminuer, mais les précipitations moyennes et la vitesse moyenne du vent maximal associées, c'est-à-dire leur intensité, pourraient au contraire augmenter.

3.1.2. Extension des aires de répartition géographiques des maladies infectieuses ou parasitaires

Le moustique *Aedes albopictus*, vecteur du Chikungunya, est désormais retrouvé dans 33 départements de France. L'augmentation des températures moyennes dues au changement climatique en Europe, faisant courir le risque d'une « sédentarisation » du Chikungunya, est réel. L'augmentation du nombre de cas importés et l'implantation d'*Aedes albopictus* dans 33 départements français risquent d'être à l'origine de cas autochtones de chikungunya dans les pays européens (et ce d'autant plus rapidement qu'*Aedes* a aujourd'hui contourné les Alpes, qui jusque-là agissaient comme une barrière naturelle entre les foyers d'implantation du moustique au sud de l'Europe et le reste du continent).

En 2016, la région Europe de l'OMS a été déclarée exempte de paludisme, mais l'implantation du moustique Anophèle ainsi que l'augmentation des températures risquent de remettre en cause ce constat. De manière générale, le changement climatique vient questionner les avancées réalisées sur le territoire français en termes d'éradication ou de lutte contre les maladies à transmission vectorielle.

Dans les zones équatoriales, comme la Guyane, le climat favorise la propagation de certains agents pathogènes et de certaines maladies vectorielles telles que la dengue, le paludisme et le chikungunya. En agissant sur les déterminants de ces pathologies vectorielles (baisse du débit des cours d'eau, élévation de température, prolifération d'algues), le changement climatique va impacter les populations les plus vulnérables : celles qui n'ont/n'auront plus accès à l'eau potable⁷⁹.

3.1.3. Des risques liés à la montée des eaux et au réchauffement des océans

Le niveau marin monte régulièrement (environ 3,31 mm/an de 1993 à 2017) et il a gagné 4,3 cm en 10 ans dans le monde (de 2008 à 2018) bien qu'avec des différences régionales. La montée des eaux représente un véritable enjeu pour les littoraux français, avec 20 000 km de côtes et près de 1000 communes littorales dont 90 en outremer⁸⁰. La proximité de la mer atténue les pics de températures, mais expose au risque de tempête, de tsunami et aux risques induits par la montée de la mer : érosion, recul du trait de côte et submersion marine notamment, salinisation et biseau salé dans certains contextes. **Près d'un quart des côtes métropolitaines sont soumises à un phénomène d'érosion** : une vitesse moyenne de recul de plus de 50 cm/an est observée pour 270 km de côtes. D'ici 2100, si la mer monte de 1 m, de nombreuses infrastructures littorales pourraient être submergées une ou plusieurs fois par siècle en France.

Sur le territoire français, les eaux marines se réchauffent tout particulièrement dans l'océan Indien, où l'augmentation prévue est plus importante que dans le Pacifique tropical sud-ouest et dans les Antilles. En termes de vitesse de réchauffement, l'Europe de l'Ouest est plus touchée que la Guyane. En Nouvelle-Calédonie, l'eau de surface semble représentative de l'évolution régionale du Pacifique tropical sud-ouest : elle se réchauffe nettement et plus encore ces dernières décennies. Les années les plus chaudes depuis 1970 correspondent aux événements La Niña.

⁷⁹ http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Fiche5-effets_sur_la_sante.pdf

⁸⁰ <http://observatoires-littoral.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-r9.html>

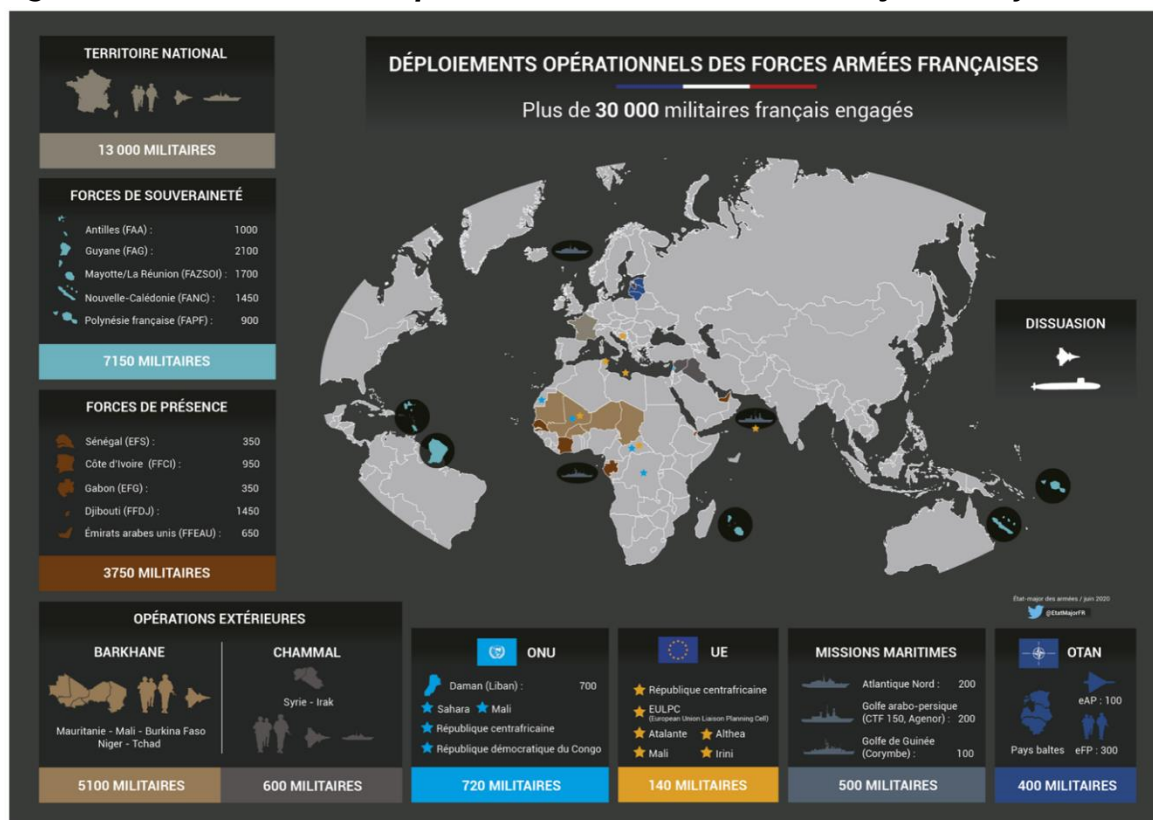
En Polynésie française⁸¹, l'une des régions du monde les plus vulnérables au changement climatique en raison notamment de ses écosystèmes fragiles, les précipitations vont augmenter progressivement tout au long du XXI^e siècle, en réponse au réchauffement global de l'atmosphère⁸². Ces modifications vont générer plus de cyclones et s'ajouter à l'acidification des océans (due à la concentration croissante de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et dans les eaux de surface), entraînant un impact sur les capacités halieutiques et mettant en jeu la sécurité alimentaire de certaines îles isolées.

Le niveau des mers a déjà augmenté de 7,7 cm durant la période 1997-2017, entraînant un risque d'intrusion d'eau saline dans les nappes phréatiques. En termes d'évènement météorologique extrême, on note une augmentation significative du nombre de cyclones. L'année 2017 a vu autant de cyclones que pendant toute la période 1981-2010. Ce phénomène météorologique met à mal le système de santé déjà surchargé, quand les infrastructures ne sont pas détruites.

3.2. Perspectives d'évolution des risques dans les zones de déploiement des OPEX, d'escale et des forces pré-positionnées

De manière globale, les principaux risques sanitaires sur lesquels le changement climatique a une incidence sont les conséquences de la survenue d'évènements météorologiques extrêmes, l'augmentation des températures et des vagues de chaleur, les changements de répartition géographique de certaines maladies et les phénomènes de (ré)émergence.

Figure 9 - Etat des lieux des déploiements des forces armées françaises (02 juillet 2020)



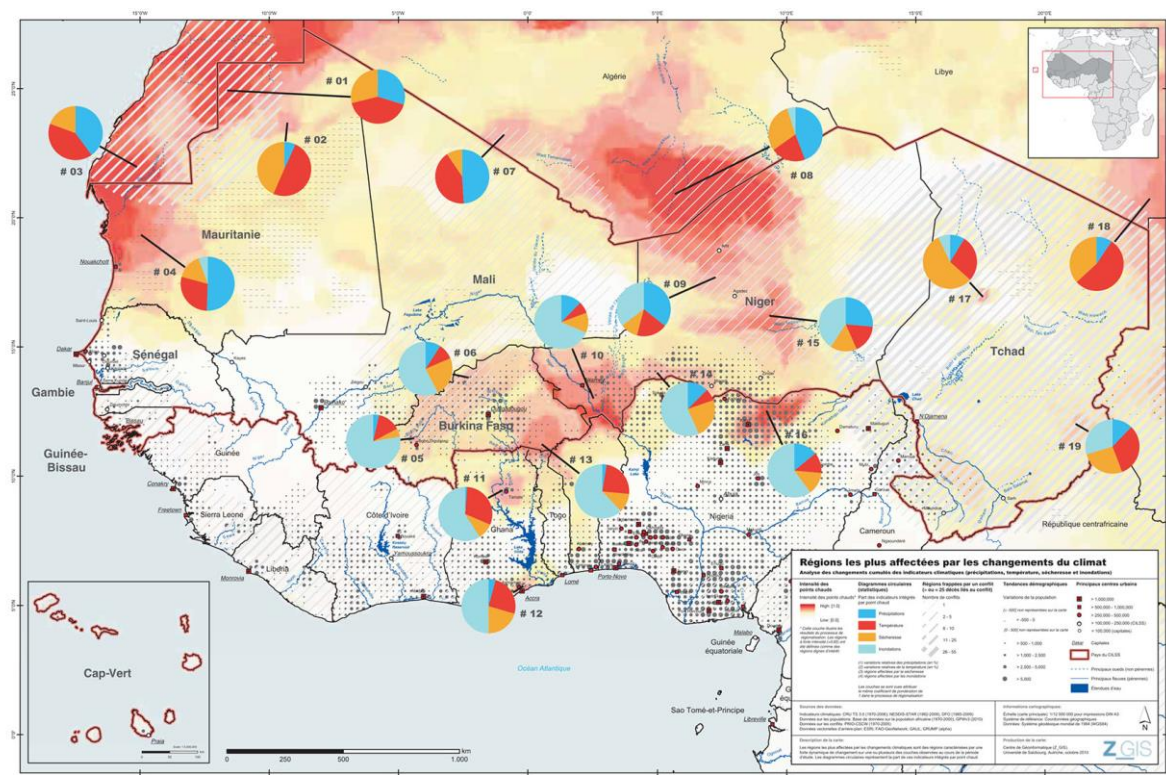
Source : Ministère des Armées, 02 juillet 2020.

⁸¹ Marania Hopuare. *Changement climatique en Polynésie française - détection des changements observés, évaluation des projections*. Autre [q-bio.OT]. Université de la Polynésie Française, 2014. Français. (NNT : 2014POLF0007). (tel-01080290).

⁸² *Etat des lieux sur les enjeux du changement climatique en Polynésie française*. 2009.

En Afrique de l'Ouest, les inondations, sécheresses, perturbation des saisons pluvieuses et vagues de chaleur sont les événements météorologiques extrêmes les plus manifestes. A cela, il faut ajouter une forte érosion côtière sur l'ensemble du littoral, une érosion des sols, la dégradation des ressources forestières et la désertification, processus lents et potentiellement irréversibles qui menacent la sécurité alimentaire. **Le Programme des Nations unies pour l'Environnement (UNEP)⁸³ a ainsi identifié 19 « points chauds » en Afrique de l'Ouest, région où le changement climatique entraîne des problématiques avec une importance majeure. 12 d'entre eux sont sur le territoire de la mission Barkhane : 3 en Mauritanie, 3 au Burkina Faso, 4 au Niger, 2 au Tchad.**

Figure 10 - Carte des points chauds identifiés au Sahel



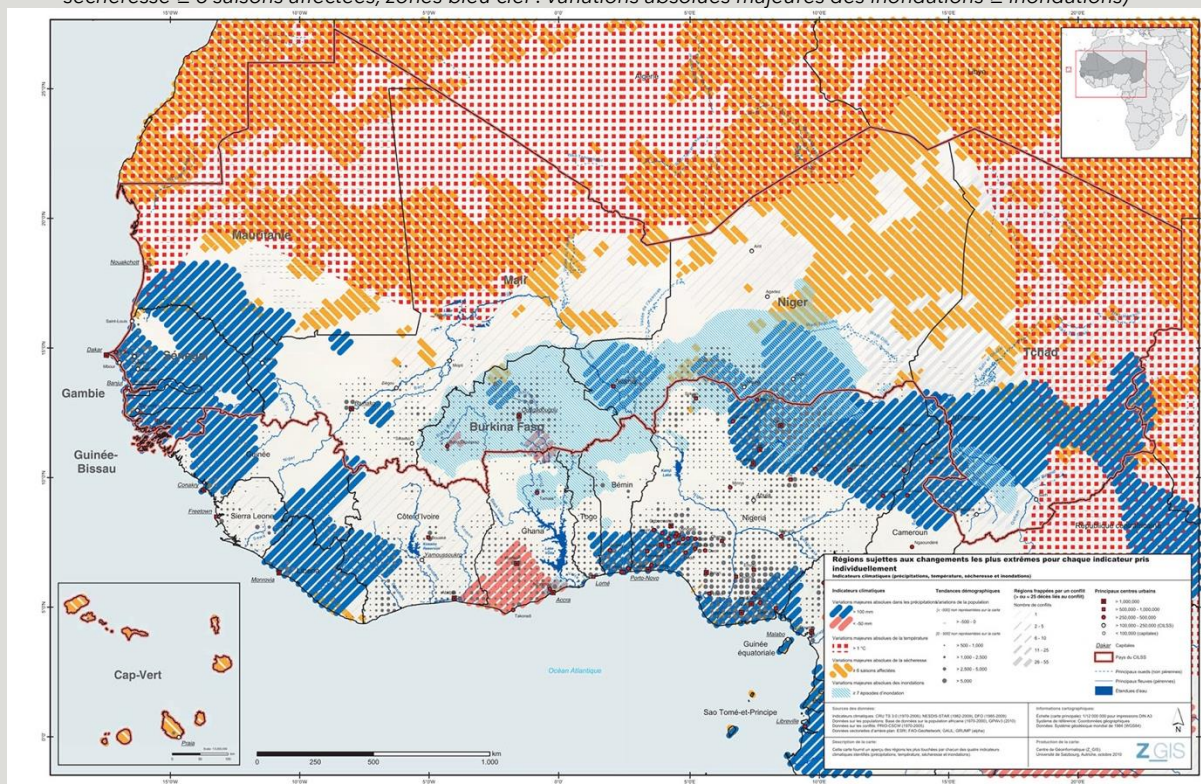
Source : Sécurité des moyens d'existence : changement climatique, migrations et conflits au Sahel. UNEP.2011.

Le Sahel, lieu de déploiement de la mission Barkhane, combine de nombreux risques associés directement ou indirectement au changement climatique : sécheresse, inondations, tensions autour de la sécurité alimentaire, difficultés d'accès à l'eau, déplacements de populations... Dans cette zone, la carte de la faim s'est superposée à celle de l'insécurité. La crise se nourrit du dérèglement climatique, d'une croissance démographique non maîtrisée et de l'amenuisement des ressources naturelles qui en résulte.

⁸³ *Sécurité des moyens d'existence : changement climatique, migrations et conflits au Sahel*. UNEP.2011.

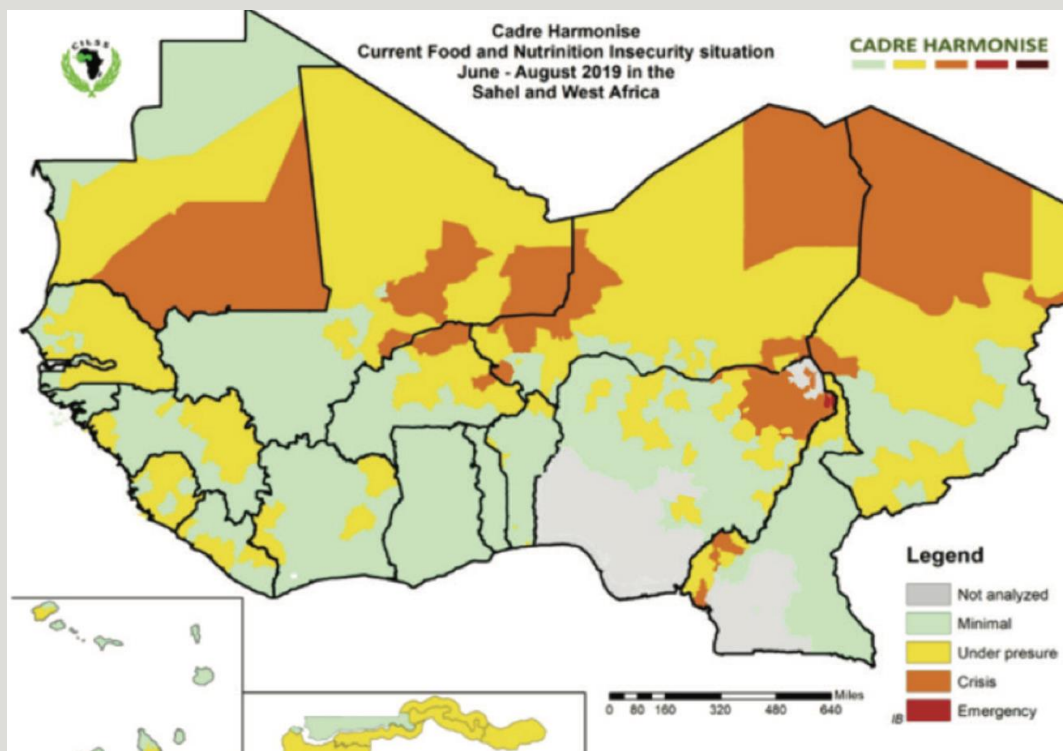
Figure 11 - Régions affectées par les changements les plus extrêmes des indicateurs climatiques pris séparément

(hachuré bleu foncé : variations majeures absolues dans les précipitations supérieures à 100 mm, damier à carrés rouges : variations majeures absolues de la température supérieure à 1°C, hachuré orange : variations majeures absolues de la sécheresse ≥ 6 saisons affectées, zones bleu ciel : variations absolues majeures des inondations $\geq$ inondations)



Source : Sécurité des moyens d'existence : changement climatique, migrations et conflits au Sahel. UNEP.2011.

Figure 12 - Insécurité alimentaire et nutritionnelle au sahel en période estivale (2019)



Source : World Bank.2012. Turn Down the Heat: why a +4°C warmer world must be avoided. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. Washington, DC:World Bank.

Dans un contexte où les systèmes d'irrigation sont peu développés, la plus grande variabilité des précipitations et des déficits pluviométriques prolongés provoque un tarissement des eaux de surface, un épuisement des nappes phréatiques et une réduction du niveau des crues.

Avec la déforestation liée à des pratiques d'agriculture et d'élevage non durables, la sécheresse accentue la dégradation des terres et la désertification. Ces phénomènes ont de lourdes conséquences sur les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire, qui vont croissant au fur et à mesure des années.

3.2.2. Golfe Persique

Les principales vulnérabilités pour les Forces de présence dans le golfe Persique sont liées aux vagues de chaleur et à la pollution de l'air.

Alors qu'on parle de canicule dans les zones tempérées, dans les Émirats arabes unis (EAU), la température moyenne est de 30°C six mois par an. De mai à octobre, l'association de la température moyenne à l'indice d'humidité très bas provoquent un inconfort justifiant que le climat soit qualifié de « défavorable » selon l'indice de chaleur *Heat Index*. La région possède un climat désertique selon la classification de Köppen-Geiger caractérisé par une chaleur extrême, mais aussi un taux de poussières important. Au Moyen-Orient, 52 % des particules fines sont en effet dues aux poussières naturelles. Avec la pollution de l'air et les tempêtes de sables/poussières, le niveau de particules fines PM 2,5 en 2017 est supérieur aux valeurs de l'OMS dans toutes les villes des EAU.

En suivant les prévisions du changement climatique, une étude du MIT publiée dans le journal *Nature Climate Change* évoquait la possibilité que les pays du Golfe deviennent une « zone inhabitable » d'ici la fin du siècle. D'ores et déjà, il n'est pas recommandé d'effectuer un travail de force à l'extérieur à certaines heures de la journée.

3.2.3. Zone Indopacifique

Cette zone représente une priorité pour la France. L'adaptation au changement climatique fait partie des thématiques au cœur des préoccupations, avec notamment une implication croissante de l'IRD.

La prise en compte des effets du changement climatique représente un risque majeur pour les Etats et territoires insulaires du Pacifique Sud, avec notamment des risques de submersion. Dans ce contexte, la problématique du déplacement des populations affectées représente un véritable enjeu.

L'Asie du Sud-Est par ailleurs une zone propice à l'émergence ou la réémergence de maladies infectieuses. La progression de maladies telles que la dengue ou la leptospirose en font des priorités sanitaires. Avec le changement climatique, des phénomènes tels que l'urbanisation accrue, la croissance démographique, l'intensification des pratiques agricoles ou le développement économique sont à l'origine de transformations environnementales importantes, avec des conséquences sanitaires. L'un des objectifs du projet ECOMORE II, soutenu par l'Agence française de développement, est d'étudier le rôle du changement climatique dans l'émergence des maladies infectieuses dans cette zone⁸⁴.

⁸⁴ Coordonnée par l'Institut Pasteur, le consortium comprend l'Institut Pasteur du Cambodge, l'Institut Pasteur du Laos, le *National Institute of Hygiene and Epidemiology* au Vietnam, le *National Health Laboratory* au Myanmar, le *Research Institute for Tropical Medicine* philippin et l'IRD.

3.3. Implications pour les forces, directions et services des armées

3.3.1. Des implications en termes de protection des capacités individuelles et opérationnelles

La démarche d'anticipation des risques sanitaires influencés par le changement climatique a pour objectif de pouvoir adapter et renforcer les moyens visant à préserver la capacité opérationnelle individuelle et collective.

Certaines unités, notamment de l'Armée de Terre, sont habituées à intervenir dans des conditions difficiles et la prise en compte des risques sanitaires associés à ces milieux fait partie de la formation. **Néanmoins, des phénomènes liés au changement climatique tels que l'élévation de température et l'extension des aires de répartition de certaines maladies non seulement accentuent ces risques mais affectent aussi de façon croissante le territoire national.**

Ces évolutions imposent donc de considérer leur impact potentiel à plus long terme sur 1) les différentes catégories de personnels, en fonction de leurs missions, du risque d'exposition et de leurs vulnérabilités potentielles, et 2) et sur la réalisation des missions. A des fins de prévention et de maintien des capacités opérationnelles, il convient d'élargir à des personnels qui n'étaient peut-être encore pas concernés la sensibilisation sur les moyens de prévention de certains risques sanitaires et de s'y adapter, ainsi que sur les signaux d'alerte à savoir reconnaître chez soi mais aussi chez une autre personne. Il faut aussi envisager les mesures qui pourraient être mises en œuvre concrètement afin de limiter les risques tout en permettant le maintien de l'activité (un retour d'expérience sur la crise de la Covid-19 devrait permettre d'apporter des éléments concrets à ce sujet).

3.3.1.1. Des enjeux liés aux pénuries en eau

Les difficultés d'accès à l'eau pourraient imposer sur certains théâtres d'organiser le ravitaillement en eau et son stockage, ce qui constituerait une contrainte logistique importante, en particulier si les forces doivent être relativement mobiles.

3.3.1.2. Des enjeux liés aux vagues de chaleur : le coup de chaleur d'exercice

Le coup de chaleur d'exercice (CCE) ou hyperthermie maligne d'effort est un phénomène bien connu dans les armées⁸⁵. **Les données chiffrées fournies par l'armée américaine ont montré une augmentation du nombre de CCE** (à noter que la définition américaine du CCE diffère de la française puisqu'elle comprend les accidents hyperthermiques). Il y a eu aux Etats-Unis une augmentation en une décennie de près de 60 % des coups de chaleur et cas d'épuisement causés par la chaleur chez les personnels d'active, atteignant 2 792 cas en 2018. Au moins 17 décès seraient survenus dans le cadre d'exercices d'entraînement sur des bases américaines depuis 2008. Le coût des effets de la chaleur sur la santé entre 2008 et 2018 est par ailleurs estimé à près d'un milliard de dollars pour l'armée américaine⁸⁶. **Dans ce contexte, l'impact du changement climatique représente un enjeu majeur.** Une enquête réalisée par *InsideClimate News* et *NBC News* a montré un manque de sensibilisation quant aux risques liés à la chaleur et un certain mépris des règles de sécurité conduisant certains chefs à ne pas adapter l'intensité des entraînements aux conditions extérieures malgré les risques. La mise en œuvre de nouvelles initiatives de prévention semble

⁸⁵ Sagui E. et al. « Le coup de chaleur d'exercice : quoi de neuf ? » *Médecine et Armées*.2015 ;43(5) :490-497.

⁸⁶ State Safety Office, Army National Guard. Safety message 20-07, Heat injury prevention. 2020.

néanmoins avoir permis d'enrayer cette évolution même si le risque subsiste, d'après les données les plus récentes⁸⁷. Cette évolution devra toutefois être confirmée à plus long terme

Figure 13 - Guide pour la prévention des coups de chaleur dans l'armée américaine

Heat Category	WBGT Index (°F)	Easy Work Walking on hard surface, 2.5 mph, <30 lb. load; weapon maintenance, marksmanship training.		Moderate Work Patrolling, walking in sand, 2.5 mph, no load; calisthenics.		Hard Work Walking in sand, 2.5 mph, with load; field assaults.	
		Work/Rest (minutes)	Fluid Intake (quarts/hour)	Work/Rest (minutes)	Fluid Intake (quarts/hour)	Work/Rest (minutes)	Fluid Intake (quarts/hour)
1	78° - 81.9°	NL	½	NL	¾	40/20 (70)*	¾ (1)*
2 (GREEN)	82° - 84.9°	NL	½	50/10 (150)*	¾ (1)*	30/30 (65)*	1 (1¼)*
3 (YELLOW)	85° - 87.9°	NL	¾	40/20 (100)*	¾ (1)*	30/30 (55)*	1 (1¼)*
4 (RED)	88° - 89.9°	NL	¾	30/30 (80)*	¾ (1¼)*	20/40 (50)*	1 (1¼)*
5 (BLACK)	> 90°	50/10 (180)*	1	20/40 (70)*	1 (1¼)*	10/50 (45)*	1 (1¼)*

NL = No limit to work time per hour.

*Use the amounts in parentheses for continuous work when rest breaks are not possible. Leaders should ensure several hours of rest and rehydration time after continuous work.

This guidance will sustain performance and hydration for at least 4 hours of work in the specified heat category. Fluid needs can vary based on individual differences (± ¼ qt/hr) and exposure to full sun or full shade (± ¼ qt/hr). Rest means minimal physical activity (sitting or standing) in the shade if possible. Body Armor - Add 5°F to WBGT index in humid climates. NBC (MOPP 4) - Add 10°F (Easy Work) or 20°F (Moderate or Hard Work) to WBGT Index.

CAUTION: Hourly fluid intake should not exceed 1½ qts. Daily fluid intake should not exceed 12 qts.

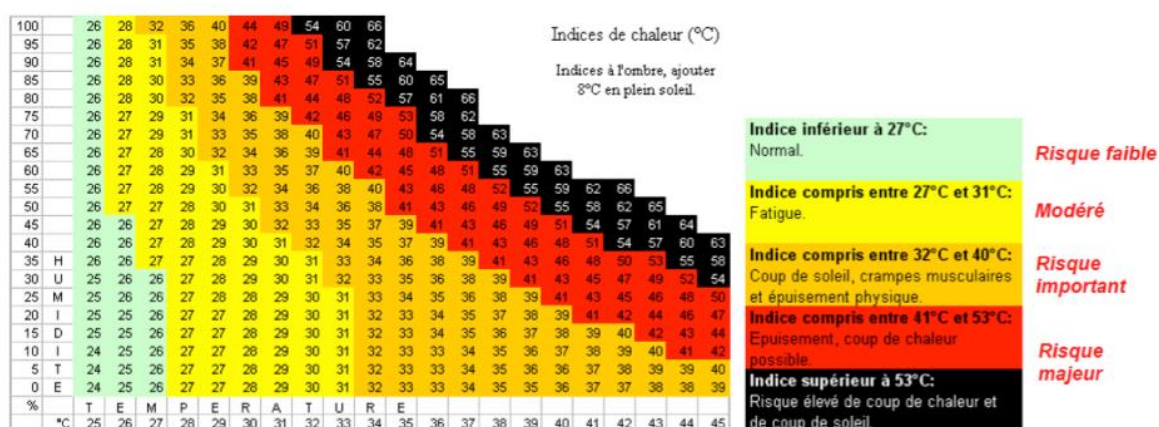


Approved for public release,
distribution unlimited.
CP-033-0615

Source : State Safety Office, Army National Guard. Safety message 20-07, Heat injury prevention. 2020.

En France, la publication interarmées sur l'entraînement physique militaire et sportif intègre un abaque prenant en compte l'hygrométrie et visant à calculer des indices de chaleur, permettant de déterminer des niveaux de risques. En outre, le CCE fait bien évidemment partie des pathologies explorées par le service de santé des armées. Des incertitudes subsistent, par exemple sur le rôle causal de l'hyperthermie ou sur les critères à prendre en compte s'agissant du retour - ou non - de la personne affectée à une activité physique sans restriction.

Figure 14 - Abaque permettant de calculer l'indice de chaleur.



Source : Manuel d'entraînement physique militaire et sportif (EPMS), P.I.A-7.1.1., 12 octobre 2011 ; Dukes-Dobos F. et Henschel A. Development of permissible exposure limit for occupational work. ASHRAE Journal. 1973;15:57-62.

⁸⁷ <https://www.military.com/daily-news/2020/05/12/after-hitting-record-high-military-heatstroke-cases-may-be-decline.html>

L'impact de la chaleur sur les fonctions cognitives et les processus de prise de décision devraient être exploré de façon plus poussée. Les observations faites dans le cadre d'études impliquant un nombre limité de sujets mettent déjà en lumière l'importance d'intégrer une démarche de développement durable lors de la construction ou de la rénovation des bâtiments non seulement pour des raisons environnementales mais aussi dans une démarche de préservation des fonctions cognitives, y compris des capacités de concentration et de réflexion^{88,89}.

Les vagues de chaleur sont donc susceptibles d'affecter tous les personnels, militaires et civils, bien que de façon différente. Les conditions d'exercice du métier en cas de fortes chaleur ne sont certes pas aussi éprouvantes en centrale mais le profil des personnels diffère significativement, en termes d'âge moyen et d'aptitude physique. **Les mesures de prévention et de gestion des vagues de chaleur doivent être adaptées en fonction, des secteurs. Il est nécessaire de disposer de plan de prévention et de réponse, ainsi que d'un système d'alerte précoce.** Il faut être en mesure d'identifier les personnes fragiles ou soumises à des conditions pouvant les rendre plus vulnérables (conditions de travail, conditions de transport), de mener des campagnes de sensibilisation et de communication en adaptant le discours à la cible, en fonction des risques susceptibles d'être rencontrés.

La conception des infrastructures fait partie des pistes à prendre en compte, de même que l'aménagement de l'environnement, avec la végétalisation de certains espaces. Plus aisé à mettre en œuvre, il est possible de modifier les habitudes de vie et professionnelles afin de limiter l'impact des températures élevées (aménagement des horaires de travail, organisation des différentes activités au cours de la journée, changement du lieu de travail ou télétravail pour limiter le temps passé dans les transports). Encore plus simplement, un rappel de l'importance de gestes simples comme le fait de s'hydrater régulièrement, de ventiler quand il fait plus frais à l'extérieur et que le soleil est couché, de fermer les volets et les fenêtres dans la journée, ou encore de placer un linge humide ou de pain de glace dans un courant d'air peut s'avérer utile même si cela paraît évident. **Informé sur les signes d'alerte permettant de détecter le plus tôt possible un problème, chez soi ou chez les autres, est également important.**

Le recours à la climatisation offre une possibilité de soulager les personnes et d'améliorer leurs conditions de vie pendant les vagues de chaleur, mais ces systèmes sont extrêmement énergivores, avec des risques de rupture d'approvisionnement en cas de sollicitation extrême du réseau, et participe également au changement climatique.

3.3.1.3. Le risque infectieux lié à l'émergence d'agents pathogènes et à l'extension des aires de répartition des maladies à transmission vectorielle

De nombreuses maladies à transmission vectorielle et/ou zoonotiques sont affectées par les conséquences du changement climatique. L'extension des aires de répartition des moustiques *Aedes aegypti* et *albopictus*, responsables de la transmission de maladies telles que la fièvre jaune, la dengue, le Chikungunya et la maladie à virus Zika, est particulièrement significative.

En tenant compte de la progression de l'implantation de certains vecteurs, il peut être utile d'élargir à un plus grand nombre de personnels la sensibilisation et l'information à propos des

⁸⁸ Jose Guillermo Cedeño Laurent et al, "Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016", *PLoS Medicine*, 10 juillet 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002605>

⁸⁹ Lingzhen Dai et al, "Cognitive function and short-term exposure to residential air temperature: A repeated measures study based on spatiotemporal estimates of temperature", *Environmental Research*, 2016, vol. 150, pp. 446-451. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.036>

risques infectieux et parasitaires et des moyens de prévention (règles d'hygiène, lutte antivectorielle).

Les risques sanitaires liés aux flux de personnels, d'équipements et de matériels dans le cadre des opérations militaires et des actions d'assistance ou de coopération sont significatifs, notamment en raison des zones géographiques concernées et/ou des circonstances (conflits, catastrophes). Même si des dispositifs existaient déjà et que des révisions déjà en cours, les urgences de santé publique de portée internationale récentes telles que la crise Ebola en 2014-2015 et la Covid-19 ont mis l'accent sur la nécessité de renforcer les mesures de prévention de la propagation entre pays et de l'introduction de maladies (maladies émergentes), de vecteurs (rats ou insectes) ou d'autres espèces nuisibles (espèces invasives comme certaines algues) sur le territoire national (la plupart étant susceptibles d'être influencés directement ou indirectement par le changement climatique).

Seul instrument international juridiquement contraignant dans le domaine de la sécurité sanitaire, le Règlement sanitaire international (RSI 2005) vise à prévenir la propagation des maladies infectieuses au niveau international. Bien qu'il ne soit pas directement concerné par le dispositif de droit commun résultant du RSI, le ministère des Armées est tenu de respecter un certain nombre d'obligations, avec des adaptations permettant d'intégrer les contraintes spécifiques des armées. Différents cas de figure existent, la propagation et l'introduction pouvant principalement survenir par le biais⁹⁰ :

- De personnes contaminées ;
- Du fret ;
- Des denrées alimentaires et de l'eau approvisionnées en escale ;
- Des déchets et effluents, y compris déchets d'activité de soins à risques infectieux (DASRI) ;
- Moyens de transport (véhicules, navires, aéronefs) ;
- De l'eau de ballast.

Des Plans de maîtrise sanitaire en opérations (PMSO), régulièrement révisés, ont été mis en place pour les OPEX à partir de 2009, puis pour les forces de souveraineté, les forces de présence et les exercices multinationaux. Ils visent en particulier les zoonoses, les maladies humaines à transmission vectorielle ou à réservoir animal. **A partir d'une analyse des risques, ils déterminent des mesures préventives individuelles et collectives, essentiellement sous forme de procédures et d'instructions relatives à des mesures telles que le nettoyage, la désinfection, la désinsectisation et la dératisation des matériels et moyens de transport⁹¹. Le suivi de l'impact du changement climatique fait partie des éléments devant être pris en compte dans le cadre de cette analyse de risque.**

La nécessité de devoir procéder à des opérations de décontamination occasionnelles ou régulières a des conséquences en termes de choix voire de conception des équipements et matériels, ainsi que de procédures (équipements sensibles, matériels jetables ou pouvant être désinfectés, protection des substances poreuses dans les véhicules et aéronefs, démontage de certains équipements en cas de transport de personnes malades, systèmes de fixation pour équipements de protection collectif). En fonction des équipements, la mise en œuvre d'un processus de désinfection implique une immobilisation de ces équipements et le recours à des équipes spécialisées (telles qu'un aéronef). Il faut également intégrer la problématique du transport et du stockage des matériels et produits nécessaires à la désinfection⁹².

⁹⁰ Wattier-Grillot S. et al. « Actualités sur le règlement sanitaire international et conséquences pour les forces armées. » *Médecine et Armées*. 2019

⁹¹ Trombini G. et al. « Mise en place de plans de maîtrise des risques zoonosaires et phytosanitaires lors du retour des forces de missions extérieures ». *Médecine et Armées*. 2010 ;38(3) :229-236.

⁹² Klaus J. et al. « Disinfection of aircraft ». *Bundesgesundheitsblatt*. 26 octobre 2016.

3.3.2. Des implications pour les missions relevant de la participation des armées à la gestion de crises sanitaires

Les armées doivent être en mesure d'évaluer l'incidence potentielle des évolutions qui se profilent sur leur rôle en matière de gestion de crise. Participant ainsi directement à la résilience de la Nation, les armées et services du ministère sont en effet amenés à mettre à la disposition des gestionnaires de crise des moyens humains et matériels en cas d'événements de grande ampleur, aussi bien sur le territoire national que dans le cadre de l'assistance internationale.

Parmi les situations auxquelles peuvent être confrontées les armées figurent les conséquences d'événements climatiques extrêmes, les flambées épidémiques voire les pandémies, mais aussi l'aide aux réfugiés climatiques, par exemple dans la zone Pacifique.

Les forces, directions et services des armées détiennent non seulement des compétences et des ressources spécifiques (logistique, prise en charge médicale), mais leurs personnels militaires sont également soumis à une sujétion en tout lieu et en tout temps et sont, pour beaucoup, préparés et entraînés à intervenir dans des conditions difficiles. Outre les actions relevant du domaine médical, ils peuvent être mobilisés pour des missions aussi variées que la recherche de victimes, le déblaiement des accès, le rétablissement de certains services, le ravitaillement alimentaire, le transport et la distribution de matériel de première nécessité.

Les effets du changement climatique pourraient se faire sentir d'une part en rendant les conditions d'intervention plus fatigantes pour les intervenants, et d'autre part par une augmentation de la fréquence et / ou de la sévérité d'événements climatiques extrêmes ou de crises sanitaires, tant au niveau national qu'international. Il peut y avoir une incidence en termes d'adéquation des effectifs, de maintien dans le temps de la capacité opérationnelle et de dotation en matériels.

3.4. Focus sur l'impact potentiel pour le service de santé des armées

3.4.1. Relever le défi de concilier mission prioritaire de soutien aux forces et participation à la gestion de crises sanitaires de grande ampleur

Les perspectives de la survenue plus fréquente de crises sanitaires résultant de catastrophes naturelles telles que des ouragans ou de l'émergence de maladies infectieuses dont la gestion s'inscrit dans le long terme représente un véritable défi pour le service de santé des armées (SSA). La mission première du SSA reste le soutien aux Forces. Il n'intervient que lorsque les moyens civils sont inexistantes, indisponibles, insuffisants ou inadaptés selon la règle des 4 « i ». Mais force est de constater que des personnels du service sont presque systématiquement sollicités en cas de crise de grande ampleur (épidémie de Chikungunya à la Réunion en 2008, campagne de vaccination contre le H1N1 en 2009, Ebola en Afrique de l'Ouest en, 2014, Ouragan Irma en 2018, Covid-19 en 2020).

Les capacités de prise en charge médicale et la qualité des soins sont susceptibles être directement affectées par ces événements, qui peuvent être liés au changement climatique et vont perturber la chaîne de santé, avec de possibles conséquences en termes de mortalité et de morbidité. Pour faire face à ces risques, il est donc indispensable d'anticiper et de disposer de matériels adaptés, de capacités de projection et de déploiement permettant de rétablir le plus rapidement possible l'accès aux soins. Ces considérations s'appliquent à la fois dans le contexte du soutien aux forces et dans celui de la participation à la gestion de crise, que ce soit sur le territoire national ou à l'international.

Le SSA est par ailleurs impliqué dans les actions de prévention, sensibilisation et information des différentes catégories de personnels à propos de risques sanitaires et des moyens de prévention et d'adaptation.

Il doit arriver à concilier sa mission première de soutien tout en restant capable d'intervenir dans un dispositif de gestion de crise. Dans ce contexte, le SSA a été confronté à une très forte déflation de ses effectifs au cours de la dernière décennie. La dernière Loi de Programmation Militaire (LPM) vise à corriger cette évolution, mais le processus est encore en cours. Outre le problème d'effectifs, il faut également considérer les enjeux budgétaires. Quelles qu'en soient les raisons, l'implication du SSA voire des armées plus largement ne fait souvent pas l'objet de la même exposition médiatique que celle accordée à d'autres acteurs civils de la gestion de crise, ce qui peut avoir des conséquences en termes de perception ou au moment d'arbitrages budgétaires.

3.4.2. Préserver et maintenir les compétences et domaines d'excellence permettant de répondre aux enjeux du changement climatique

Les compétences spécifiques du SSA qui représentent un véritable atout comprennent, entre autres :

- La veille épidémiologique et l'alerte ;
- La prise en charge médicale de patients hautement contagieux⁹³ ;
- Les capacités d'intervention dans des environnements complexes (par exemple après un événement climatique extrême ou dans le cadre d'un conflit) ;
- La prise en charge du stress-post traumatique ;
- Le diagnostic biologique et la recherche portant sur des agents biologiques hautement pathogènes (tels que le CNR des arbovirus, le CNR du charbon ou le CNR des orthopoxvirus) ;
- La logistique et les capacités de projection.

Répondre aux enjeux qui se profilent impose de soulever la question du dimensionnement du SSA et de la gestion des spécialités dans une perspective de moyen et long terme, et donc celles du recrutement, de la formation mais aussi de la fidélisation, avec la notion de la reconnaissance et de la valorisation des compétences. Le rôle des vétérinaires du SSA mérite d'être souligné dans le cadre de la réponse aux enjeux liés au changement climatique. Ils sont en effet en charge de la maîtrise de l'environnement biologique (lutte antivectorielle, lutte contre les zoonoses et les épizooties) et procurent conseil et expertise dans les domaines de l'hygiène et de la sécurité des aliments.

3.4.3. Anticiper les risques sanitaires liés au changement climatique et s'adapter

Le SSA est amené à jouer un rôle majeur dans la prévention et la réponse aux risques sanitaires liés aux modifications climatiques. Les axes d'effort pourraient être les suivants :

- **Organiser un retex intégré de la gestion des crises et de l'implication du SSA** au cours de la dernière décennie, en développant la crise de la Covid-19. Il existe déjà des éléments

⁹³ En se fondant notamment sur le Retex Ebola, un travail de fond a été engagé sur la question spécifique du rapatriement de personnes contaminées par un agent infectieux hautement pathogène ou de personnes susceptibles de l'être.

de retex pour les crises précédentes. Il y a depuis eu mise en place du modèle SSA 2020 afin de répondre aux enjeux résultant de l'évolution du contexte sécuritaire et sanitaire.

- **Evaluer la perception du rôle du SSA dans la gestion des crises sanitaires** au sein des acteurs de la gestion de crise, des autorités politiques et administratives voire de la population générale.
- A partir de l'expérience de la crise de la Covid-19, **engager une réflexion sur les possibilités de rendre plus efficace l'utilisation de la réserve opérationnelle dans un contexte de crise sanitaire de grande ampleur** (éventuellement en considérant également la réserve sanitaire civile, comme il peut exister des interférences entre les deux). Les réservistes peuvent être employés pour renforcer le dispositif pendant la crise, assurer la continuité d'activité de routine ou prendre la relève des personnels militaires une fois la phase aiguë passée afin d'éviter une usure et de préserver la capacité opérationnelle. L'organisation devrait être réalisée en amont de la crise.
- **Assurer une veille scientifique sur l'évolution des risques sanitaires liés au changement climatique** et sur les moyens de prévention, incluant un suivi des initiatives déployées au sein des forces armées étrangères.
- **Maintenir et renforcer les capacités de veille sanitaire internationale et d'alerte précoce** (en particulier au regard des enseignements de la crise du SARS-CoV-2). Il faut pouvoir détecter les signaux faibles et le cas échéant intégrer dans l'analyse des éléments contextuels permettant éventuellement de remettre en perspective les données à caractère médical et épidémiologique (connaissance des pays et des processus de prise de décision interne, considérations politiques et culturelles, accès à des articles de presse dans la langue du pays). Le ministère des Armées dispose de capacités permettant de contribuer à cette veille, avec en premier lieu le Centre d'épidémiologie et de santé public des armées (CESPA) mais aussi, en cas de nécessité, la possibilité de mobiliser des ressources dans des domaines tels que les relations internationales ou les langues.
- **Continuer à développer la recherche au sein de l'IRBA, en collaboration avec des structures de recherche civiles**, sur des thématiques telles que l'impact de l'augmentation des températures sur les fonctions cognitives et les processus de prise de décision.