

et la région Auvergne-Rhône-Alpes du mercredi 5 juin 2019 au vendredi 7 juin 2019







Maladies vectorielles au XXIe siècle

Changement Climatique et Maladies Infectieuses

Pr Christian Chidiac



Université Claude Bernard Lyon1 - UFR Lyon Sud Charles Mérieux HCL - GHN - Hôpital de la Croix Rousse





Liens d'Intérêts

Au cours des 3 dernières années, avec les sociétés Pharmaceutiques suivantes

- Recherche clinique : participation aux protocoles académiques et industriels du service
- Advisory Boards : néant
- Interventions dans réunions : Pfizer, ViiV Healthcare, MSD, Teva, Gilead
- Aides pour des recherches : néant

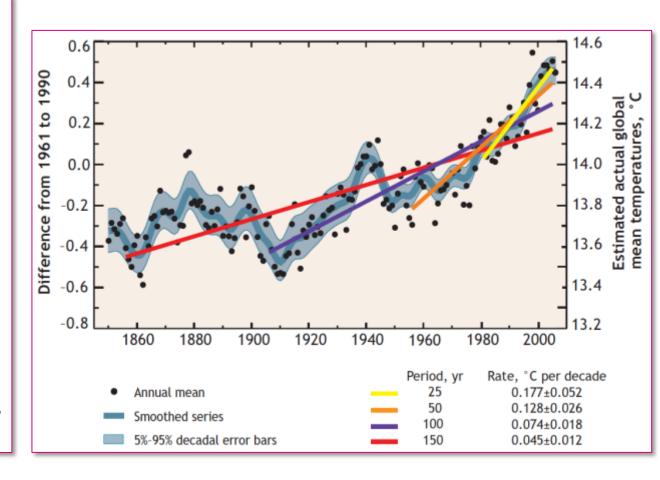
Faits Observés

Températures Mondiales Moyennes depuis 1961 : Tendances

Quelques Données de Météo France

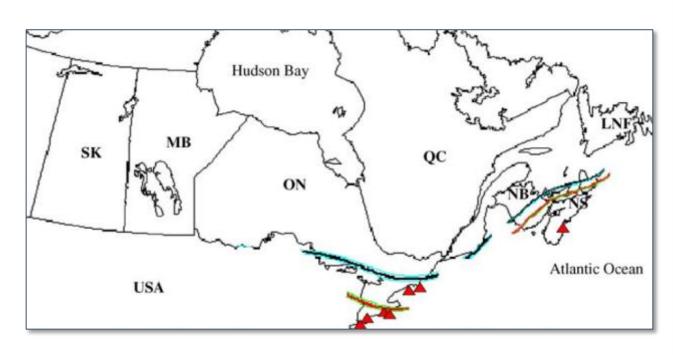
- Observations des températures depuis 1900 :
 - Hausse des températures moyennes en France de 1,4°C depuis 1900
 - Accentuation sensible du réchauffement au cours des 3 dernières décennies
- Autres observations depuis le milieu du XX^e siècle :
 - Évolution des précipitations différente selon les régions et les saisons
 - Augmentation de la fréquence des vagues de chaleur
 - Des pluies extrêmes plus intenses et plus fréquentes sur le sud-est
 - Diminution de la durée de l'enneigement en moyenne montagne
 - Assèchement du sol et accentuation de l'intensité des sécheresses

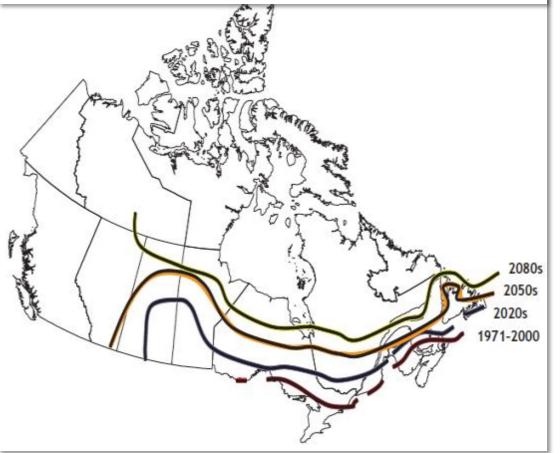
Températures Mondiales Moyennes depuis 1961



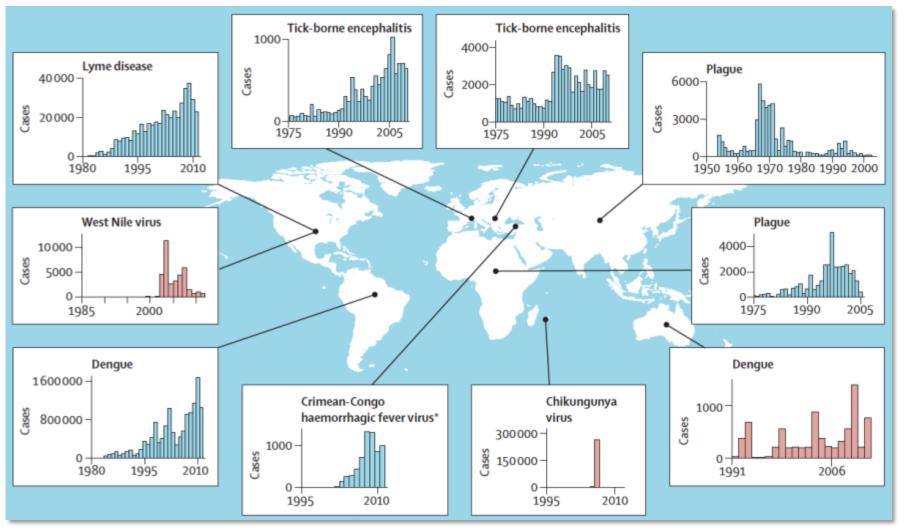
Implantation d'*Ixodes scapularis* au Canada : données 1971-2000

Température supérieure limite pour l'implantation d'*Ixodes scapularis* au Canada (modélisation)



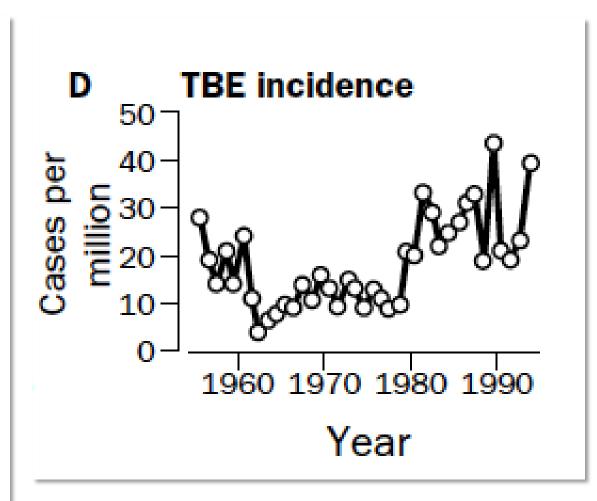


Evolution Temporelle des Cas Signalés de Maladies à Transmission par Vecteurs Introduits (rouge) et de Maladies Endémiques ou Anciennement Établies (bleu)

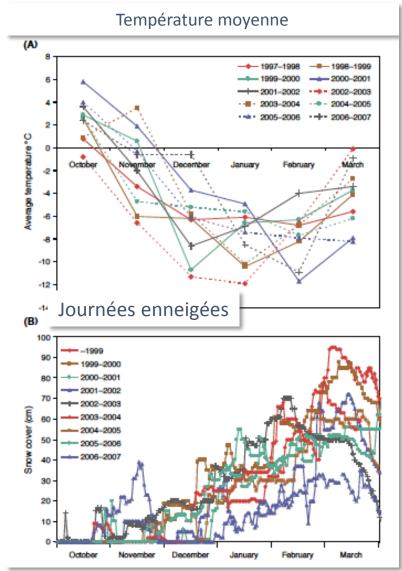


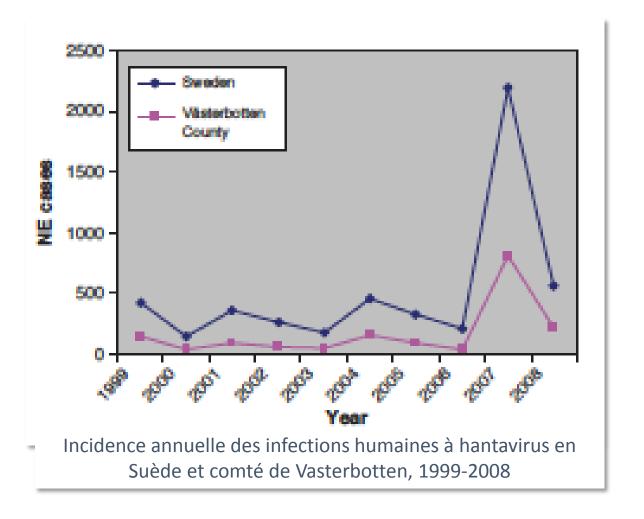
Encéphalite à Tique en Suède et Changement Climatique

- Screening sérologique de tous les cas d'encéphalite depuis 1950 pour l'encéphalite à tique
- Analyse multivariée période 1960-1998
- Étude du nombre de jours avec T° favorable aux tiques et la transmission des agents pathogènes
- Deux années de données de T° ont été reliées à chaque taux d'incidence (durée de vie moyenne des tiques)
- Incidence de la maladie significativement liée (R2=0,58; *P* < 0,0001) à :
 - La combinaison de deux hivers doux consécutifs
 - Des températures favorisant le développement printanier (8 10° C) et l'activité automnale prolongée (5 - 8°C) au cours de l'année précédant l'année d'incidence
 - Les températures permettant l'activité des tiques (5 8°C) au début de l'année d'incidence

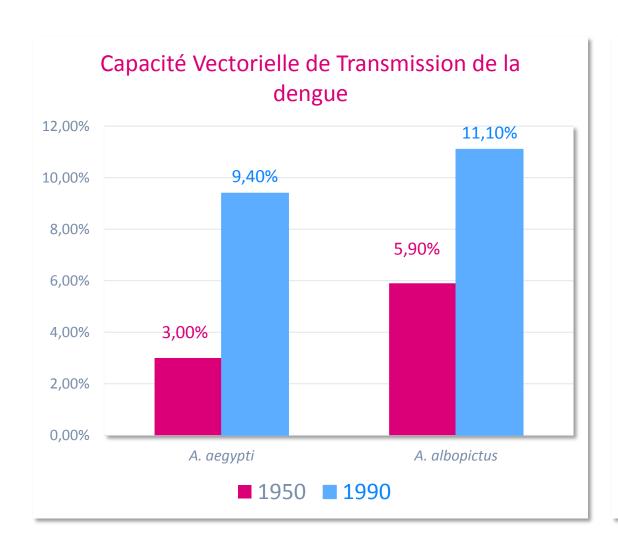


Hivers Doux dans le Nord de la Scandinavie et Risque de Flambée de Fièvre Hémorragique Virale (Hantavirus)





Changement Climatique, Vecteurs et Dengue

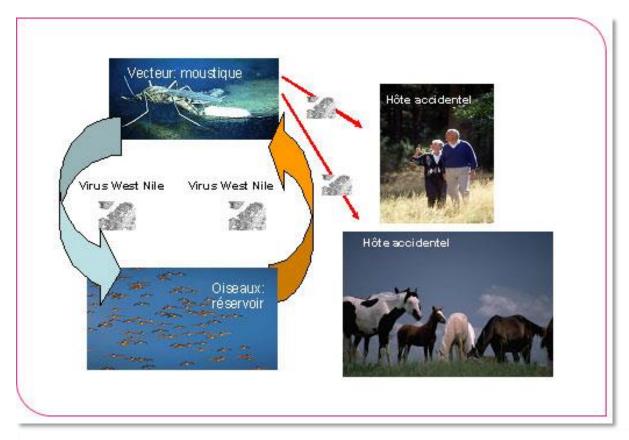


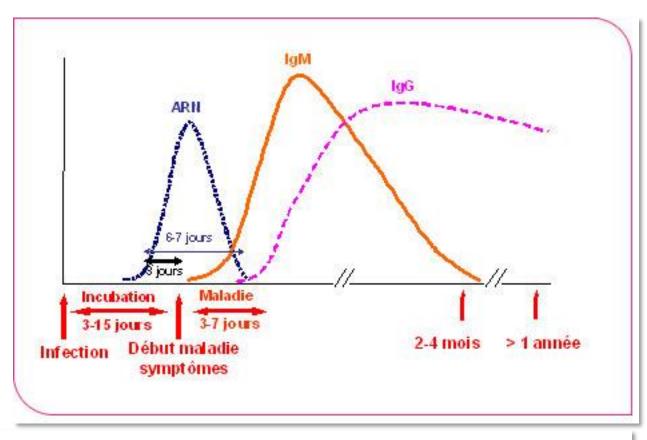
- Doublement annuel du nombre de cas de Dengue par décennie depuis 1990.
- En 2013:
 - 58,4 x 10⁶ de cas (IC 95% 23,6 121,9 10⁶),
 - > 10 000 décès
 - 114 106 d'années de vie ajustées sur l'incapacité (IC 95% 0,73-1,98 106)
 - 114 millions d'années de vie vécues avec séquelles liées à la maladie (95% CI 0·73 million-1·98 million)

Chikungunya, Dengue et Zika. Nombre de Cas Confirmés en France Métropolitaine (1er mai 2016 - 30 Nov 2016)

Régions	Cas confirmés importés				Cas confirmés autochtones			
	Dengue	Chikungunya	Zika	Co-infection	Flavivirus	Dengue	Chikungunya	Zika
Alsace-Champagne- Ardenne-Lorraine	12	1	20	0	0	0	0	0
Aquitaine-Limousin-Poitou- Charente	27	0	62	1 ^b	0	0	0	0
Auvergne-Rhône-Alpes	38	5	98	0	5	0	0	0
Bourgogne-Franche-Comté	1	0	4	0	0	0	0	0
Corse	2	0	3	0	0	0	0	0
Ile-de-France	10	3	53	0	3	0	0	0
Languedoc-Roussillon-Midi- Pyrénées	30	5	106	0	1	0	0	0
Pays de la Loire	4	0	13	0	0	0	0	0
Provence-Alpes-Côte d'Azur	43	4	91	0	2	0	0	0
Total	167	18	450	1	9	0	0	0

Infection à West Nile Virus





- West Nile Virus : arbovirus (Flavivirus de la famille des flaviviridae); transmission à l'homme par piqûre d'un moustique femelle préalablement infecté, le plus souvent du genre *Culex*)
- 20 % des personnes infectés développent une forme symptomatique (syndrome grippal, fièvre, céphalées, arthralgies, myalgies.
- 1 cas sur 150 développe une forme plus sévère avec atteinte neurologique

Infection à West Nile Virus : Épidémiologie Octobre 2018

- Au 4 Octobre 2018, 1317 cas humains rapportés en Europe :
 - Italie: 495; Grèce: 283; Roumanie: 256
 - Hongrie: 197; Croatie: 45; France: 16
 - Autriche: 15; Bulgarie: 6; Slovenie: 3
 - République Tchèque : 1
- 434 dans les pays voisins de l'Europe :
 - Serbie: 350; Israël: 81; Kosovo: 3
- 142 décès :
 - Italie: 36; Roumanie: 36; Grèce: 34; Serbie: 32;
 - Bulgarie: 1; République Tchèque: 1; Hongrie: 1; Kosovo: 1
- Durant cette période, 222 épidémies chez les équidés :
 - Italie: 120; Hongrie: 79; Grèce: 13; France: 5; Roumanie: 2, Autriche: 1, Allemagne: 1; Slovénie: 1

- En France, à ce jour, 22 cas autochtones humains confirmés ou probables d'infections à virus West-Nile recensés en région PACA depuis le début de la période de surveillance pour l'année 2018, principalement dans les Alpes-Maritimes :
 - 19 cas dans les Alpes-Maritimes, à Nice (12), Antibes (5), Villeneuve Loubet (1) et Le Cannet (1)
 - 1 cas hors région PACA mais ayant séjourné dans les Alpes-Maritimes
 - 1 cas dans le Vaucluse (Caumont-sur-Durance)
 - 1 cas dans les Bouches-du-Rhône à Marseille
- Des cas équins confirmés dans le Gard et en Corse et un cas aviaire dans les Alpes-Maritimes
- La situation épidémiologique exceptionnelle du virus West-Nile en Europe et en France et les conditions climatiques toujours propices à la prolifération et à la survie du moustique dans le Sud de la France appellent au maintien de la vigilance de tous sur le territoire national

Analyse

Effets du Changement Climatique sur les Maladies Infectieuses et Impact Possible sur leur Incidence et leur Fardeau

Maladies zoonotiques et à transmission vectorielles Lyme, West Nile virus, dengue, paludisme, chikungunya, tularémie, rage...

Maladies transmissibles par l'eau et par l'alimentation

Escherichia coli
entérotoxinogène,
Campylobacter,
Salmonella, Shigella,
Vibrio, Legionella,
C. botulinum,
Giardia,
Cryptosporidium...

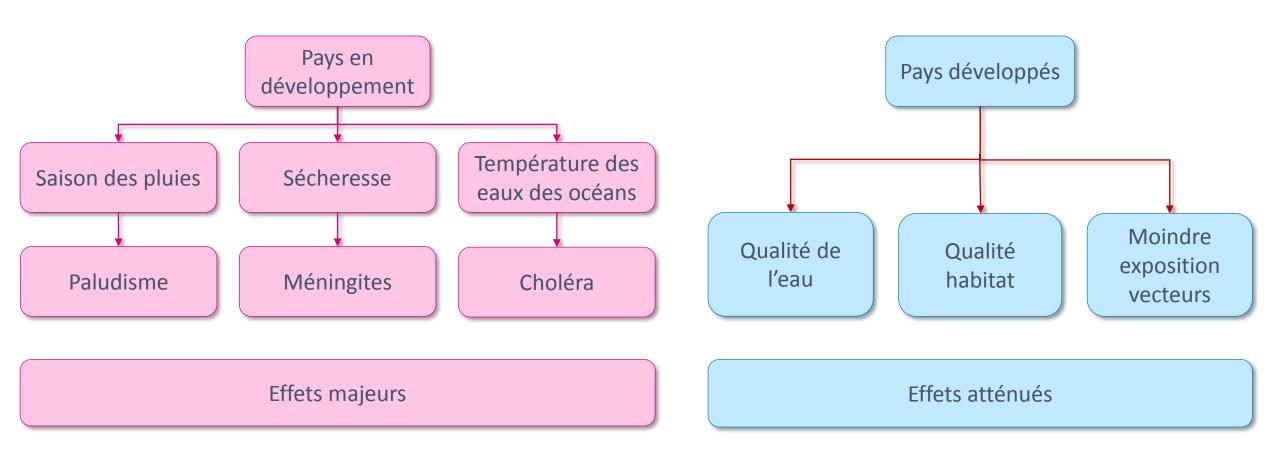
Maladies à transmission aérienne

Grippe,
Virus respiratoire
syncytial,
Streptococcus
pneumoniae...

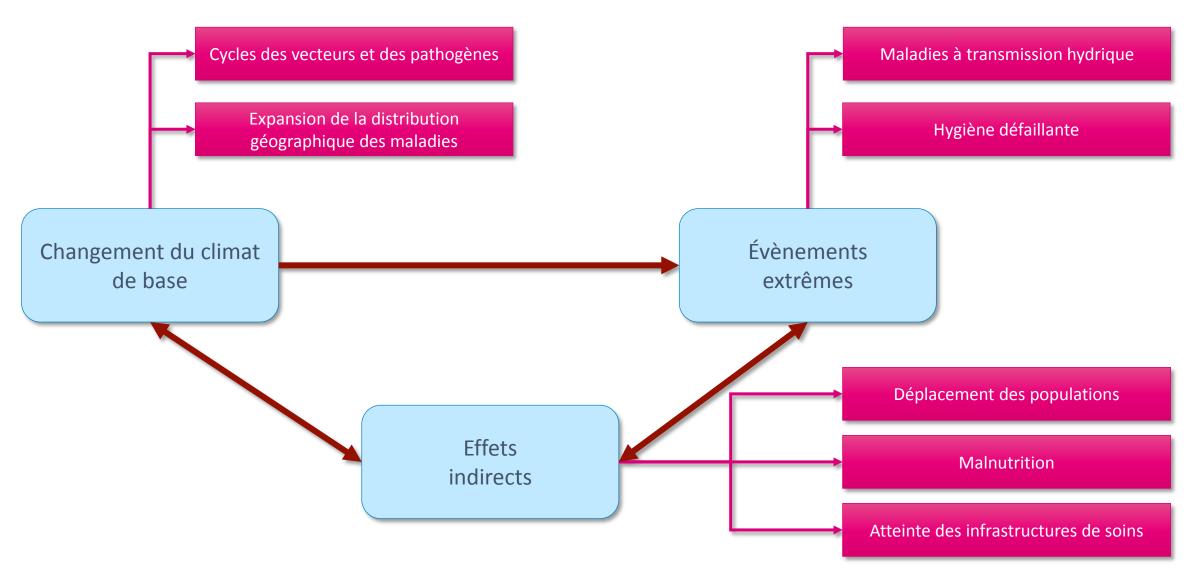
Maladies fongiques invasives

Blastomyces dermatitidis, Cryptococcus gattii, Coccidioides immitis...

Climat, Environnement et Maladies Infectieuses



Mécanismes de l'Influence du Changement Climatique sur les Maladies Infectieuses



Changement Climatique, Réactions Migratoires et Risques de Maladies Infectieuses

Effets du changement climatique

- Élévation niveau mer
- Modification
 approvisionnement en eau
 douce
- Réduction rendement alimentaire
- Évènement météo extrêmes
- Dommages écosystèmes
- Fonte de la banquise
- Dommages infrastructures
- Impact direct sur la santé

Autres facteurs de migration

- Caractéristiques des populations
- Sociaux
- Politiques
- Économiques
- Démographiques

Réponses adaptatives *in situ*

Effets des migrations

- Déplacements forcés soudains
- Déplacements dus aux conflits civils liés au climat
- Migrations lentes
- Relocalisations planifiées
- Réduction de la main d'œuvre pour les initiatives d'adaptation au changement climatique

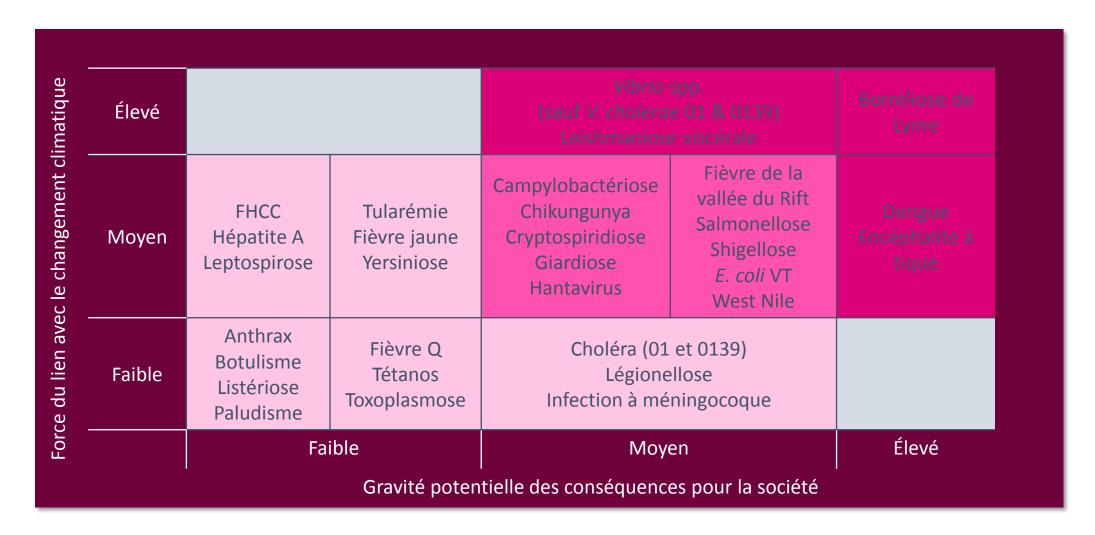
Immobilité (population piégée)

Risques maladies infectieuses

- Exposition aux maladies infectieuses dans les zones de transit, centres d'hébergement
- Importation de maladies infectieuses par les migrants (risque pour les populations hôtes et source peu immunisées)
- Immunisation insuffisante (migrants irréguliers)
- Facteurs sociaux et comportementaux majorant le risque de maladies infectieuses chez les migrants

Et dans le futur?

Risques Pondérés des Impacts du Changement Climatique sur les Risques de Maladies Infectieuses en Europe



Risque pondéré élevé

Risque pondéré moyen

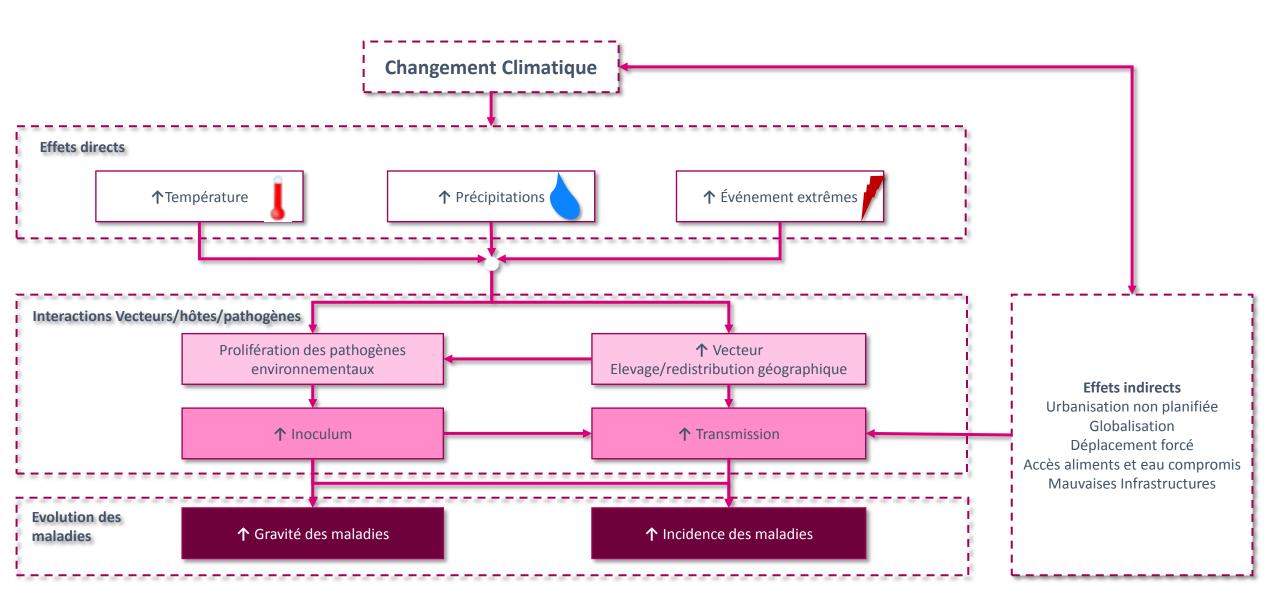
Risque pondéré faible

FHCC: Fièvre hémorragique Crimée-Congo

Maladies Infectieuses Dépendantes du Climat : Risques pour la Santé Liés aux Modifications de l'Exposition aux Maladies Selon les Pays

Type de Transmission	Maladie	Facteurs environnementaux influant la dynamique de la maladie	Pays à risque d'être touchés
Moustiques	Paludisme	Augmentation des températures moyennes, précipitations	Australie, Nouvelle Zélande, Chili, Europe du Sud
	West Nile virus	Augmentation des températures moyennes, sécheresse	USA, Europe du Sud, Canada, Australie, Nouvelle Zélande, Chili
	Dengue, Chikungunya, Fièvre jaune	Augmentation des températures moyennes	Nouvelle Zélande, Région Méditerranéenne (zones côtières en Espagne, Portugal, France), Chili
Tiques	Borréliose de Lyme, Encéphalite à tique	Augmentation des précipitations quotidiennes, humidité, modification des régimes de précipitations saisonnières, augmentation des températures moyennes, chaleur extrême	Europe du Nord, Canada, USA

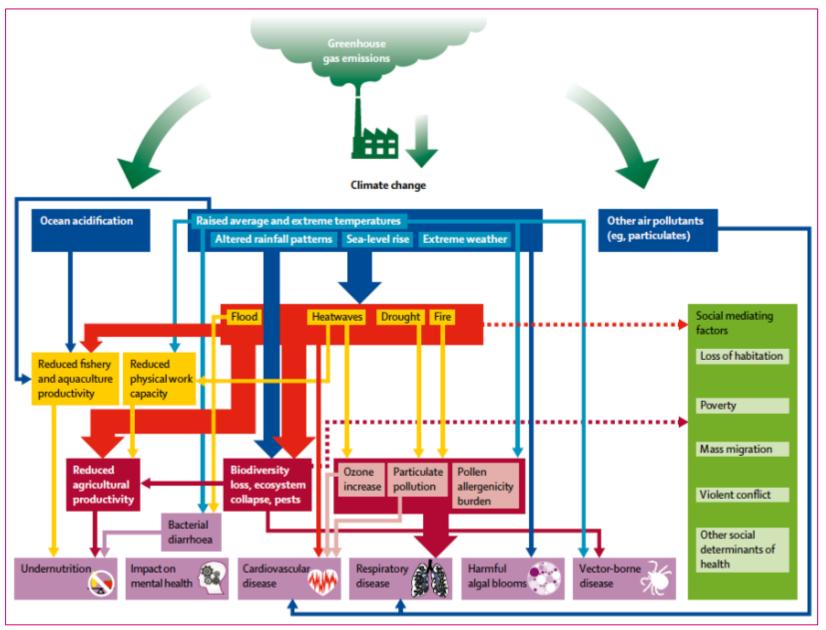
Prédictions à Cinquante ans ?



En Résumé

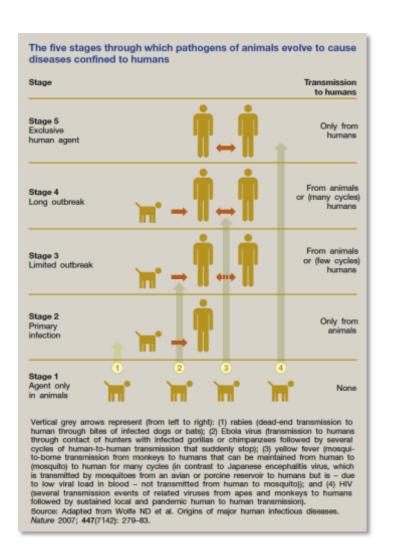
Interconnexions entre Changement Climatique et Santé Humaine





Facteurs Biologiques, Sociaux et Environnementaux de l'Émergence des Maladies Infectieuses

- Adaptation microbienne et changement
- Sensibilité à l'infection
- Climat, météo et environnement
- Développement économique et utilisation des sols
- Démographie humaine et comportements
- Technologie et industrie
- Voyages et commerce internationaux
- Dégradation de la santé publique
- Pauvreté et inégalités sociales
- Guerre et conflit
- Désintégration urbaine
- Absence de volonté politique
- Attaques biologiques intentionnelles



Take Home Messages

- Phénomènes intriqués
- Mécanismes divers
- Variations géographiques
- Risques pour les Pays du Nord :
 - Implantation et extension géographique des vecteurs
 - Réservoir animal
 - Diffusion à partir de cas humains importés
- Sous-estimation dans les « grandes conférences internationales » du problème des relations entre changement climatique et maladies infectieuses

Merci

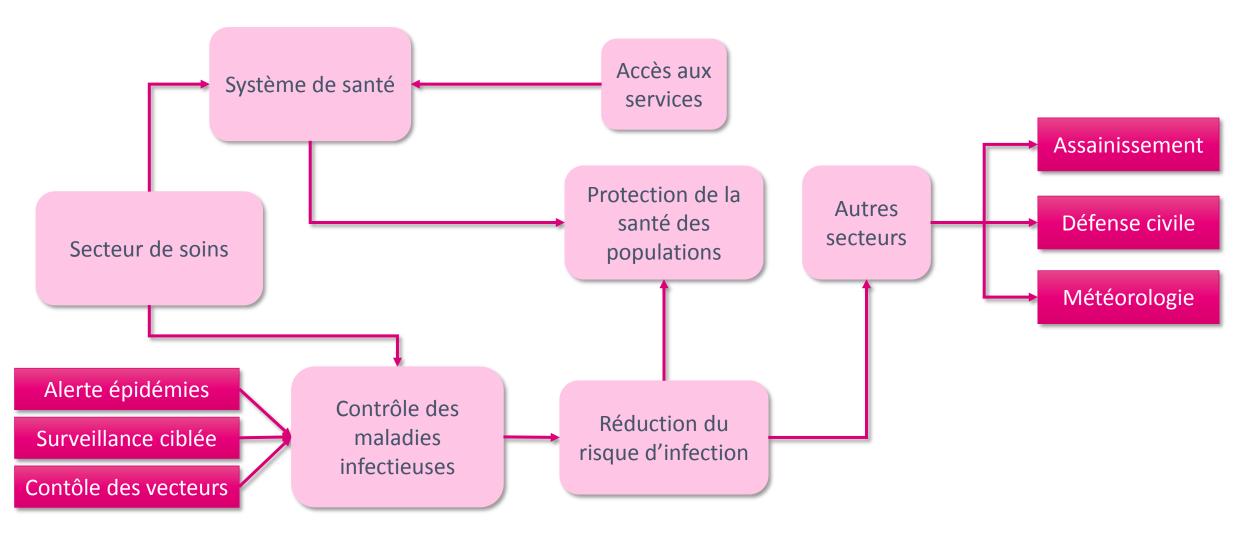
Back up

Quelles Réponses?

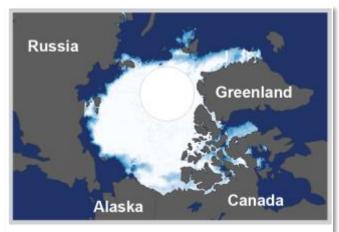
Exemples de Synergies, d'Amplificateurs et d'Atténuateurs

Maladies	Synergies	Amplificateurs	Atténuateurs	
Paludisme	Changement climatique, Augmentation de la température, Précipitations	Pauvreté, défaillance des services de santé, faible niveau de sensibilisation à la prévention des maladies, mobilité humaine	Moustiquaires, chimio-prévention du paludisme, utilisation d'insecticides, vaccins candidats modifiés, niveaux d'urbanisation	
Dengue	Changement climatique, Augmentation de la température, Précipitations	Transport international passif (pneumatiques), défaillances des services de santé, faible sensibilisation à la prévention des maladies, circulation humaine localisée sur les réseaux sociaux, migration, voyages nationaux et internationaux	Utilisation d'insecticides, application de larvicides, assainissement de l'environnement, réduction des sites de reproduction / réservoirs d'eau, modification génétique des moustiques mâles (mâles stériles), moustiquaires, agents biologiques (mésocyclops)	
Fièvre de la vallée du Rift	Changement climatique, El Niño, Oscillation australe (ENSO)	Proximité bétail infecté, augmentation du commerce du bétail en provenance de zones d'endémie	Utilisation d'insecticides, lutte antivectorielle, promotion du vaccin contre la fièvre de la vallée du Rift, systèmes d'alerte précoce efficaces, réduction des taux d'exposition des animaux lors d'épidémies	
Fièvre de la côte Est	Changement climatique, Augmentation de la température, Précipitations, Modification de la répartition des vecteurs, (Rhipicephalus appendiculatus)	Faible taux de vaccination, utilisation et efficacité d'acaricides insuffisants, résistance aux acaricides, changements de gestion, perturbation de la stabilité endémique, augmentation des tiques	Mise au point de vaccins efficaces et faciles à administrer, modification / intensification du système de production, modification de la gestion, réduction de la contamination pa les tiques, amélioration de la génétique animale	

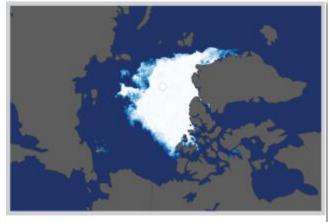
Changement Climatique et Maladies Infectieuses : Stratégies d'Adaptation



Changement Climatique et Maladies Infectieuses en Zone Arctique



Sept. 1984



Sept. 2012

- Réchauffement des zones arctiques
- Impact de la température et de l'humidité sur le développement, la survie, la reproduction des pathogènes et donc sur l'incidence et la prévalence de nombreuses maladies infectieuses
- Impact sur la survie en périodes hivernales des hôtes infectés avec augmentation de la taille de la population et expansion de leur habitat
- Modification de la distribution géographique et temporelle de multiples maladies infectieuses
- Principalement, zoonoses transmises par vecteurs, eau, sols, animaux domestiques ou sauvages

Principales zoonoses pathogènes climat-dépendantes en zone circumpolaire: Brucella spp., T. gondii, Trichinella spp., C. botulinum, F. tularensis, B. burgdorferi, B. anthracis, Echinococcus spp., Leptospira spp., Giardia spp., Cryptosporida spp., C. burnetti, virus de la rage, West Nile virus, Hantavirus, encéphalite à tique.

Changement Climatique et Maladies Infectieuses Humaines (ii)

Evènements météorologiques extrêmes	Type de maladie	Principales découvertes	
El Nino	Transmission vectorielle	Flambées de maladies émergentes Flambées et épidémies de paludisme Étonnamment moins de paludisme durant l'année d'El Nino que dans l'année précédente (Tanzanie, Sar Syndrome cardio-pulmonaire à Hantavirus (plateau du Colorado)	
	Transmission hydrique	Doublement du risque de diarrhée (exposition aux eaux des côtes californiennes)	
La Nina	Transmission vectorielle	Épidémie de Chikungunya liée à la sécheresse secondaire à La Nina Épidémies de fièvre à virus West Nile et d'encéphalite japonaise	
Oscillation quasi biennale*	Transmission vectorielle	Incidence la fièvre du virus de la Ross River dans le Queensland	
Maria de la desta de la compansión de la	Transmission vectorielle	Epidémie d'infection à virus West Nile en 2000, Israël	
Vagues de chaleur	Transmission aérienne	Majoration de la morbi-mortalité par infections des voies respiratoires	
	Transmission hydrique	Fréquence des diarrhées , en particulier dans les camps de réfugiés	
Sécheresse	Transmission vectorielle	Syndrome pulmonaire à Hantavirus . Majoration du risque de fièvre à West Nile Majoration du risque d'encéphalite de St. Louis	

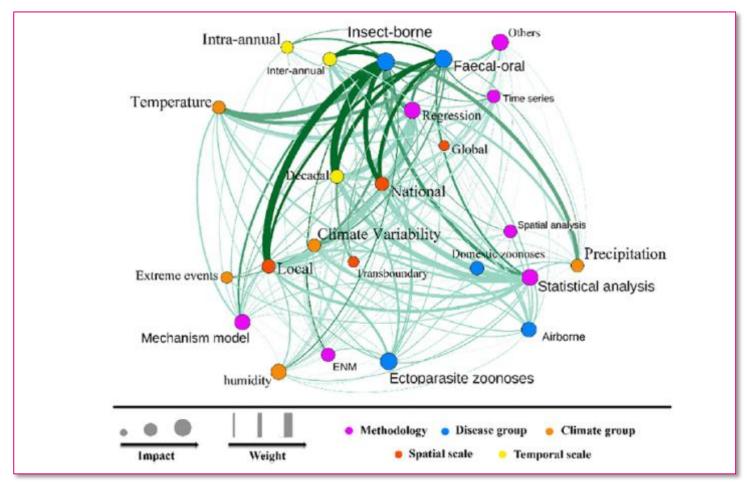
^{*} changement oscillatoire de la direction des vents dans la stratosphère équatoriale, jusqu'à environ 12 degrés de l'équateur, ayant une période de 28 mois en moyenne

Changement Climatique et Maladies Infectieuses Humaines (iii)

Evènements météorologiques extrêmes	Type de maladie	Principales découvertes
	Transmission hydrique	Infections à <i>Cryptosporidium</i> Majoration significative du risque de gastro-entérite associé à l'ampleur des inondations à Lewes (Sud de l'Angleterre)
Inondations	Transmission vectorielle	Mozambique : paludisme, typhoïde, choléra Fortes pluies ou inondations : épidémie de fièvre à Ross River virus Diarrhée et paludisme après les inondations de 1988 à Khartoum, Soudan Filariose lymphatique Arboviroses Fièvre hémorragique avec syndrome rénal Syndrome pulmonaire à Hantavirus Leptospirose
Ouragan	Transmission vectorielle	Paludisme et Dengue au Honduras et au Venezuela
	Transmission vectorielle	Majoration de l'incidence de la leptospirose
Cyclone	Transmission hydrique/alimentaire	Majoration de l'incidence du choléra au décours de cyclone

^{*} changement oscillatoire de la direction des vents dans la stratosphère équatoriale, jusqu'à environ 12 degrés de l'équateur, ayant une période de 28 mois en moyenne

Des Phénomènes Complexes et Intriqués



Climate-disease-method-scale thematic network. Each node indicates one thematic term, and its size tells the level of connectivity. The thickness of the curved edges is a proxy for the occurrence frequency of this relation. Note: ENM - ecological niche modeling.

Changement Climatique et Vulnérabilité aux Maladies Infectieuses en Europe(i)

- (A) Maladie de Lyme
- (B) Encéphalite à tique
- (C) Hantavirus
- (D) Leishmaniose

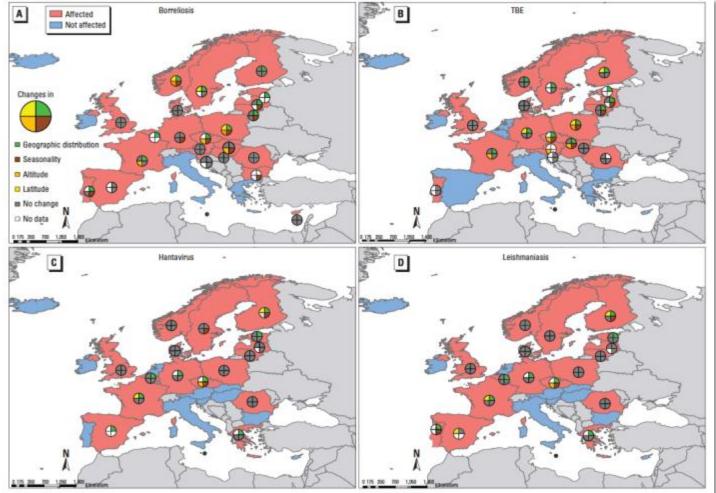


Figure 1. Responses from national infectious disease experts from EEA countries, 2009–2010, as to whether specific vector-borne diseases would be affected or not affected by climate change. (A) Borreliosis (Lyme disease). (B) TBE. (C) Hantavirus infections. (D) Leishmaniasis. Data are based on the following survey question on future infectious disease risks in a changing climate: "Which infectious diseases do you think climate change will most affect in your country?"

Changement Climatique et Vulnérabilité aux Maladies Infectieuses en Europe(i)

- (A) West Nile virus
- (B) Chikungunya
- (C) Dengue
- (D) Tularémie

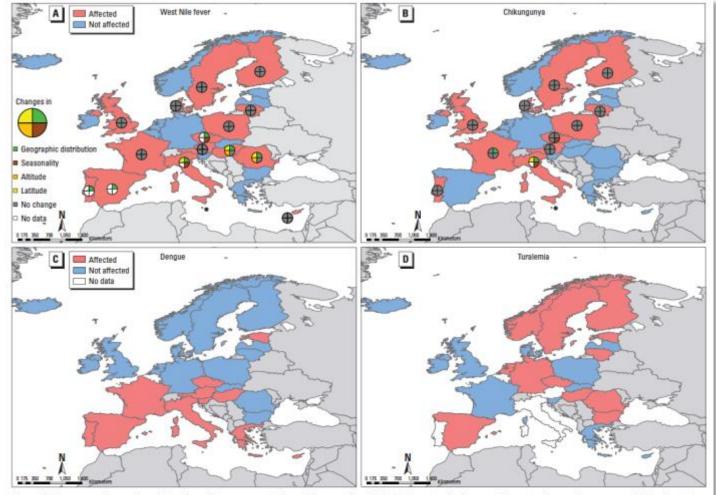
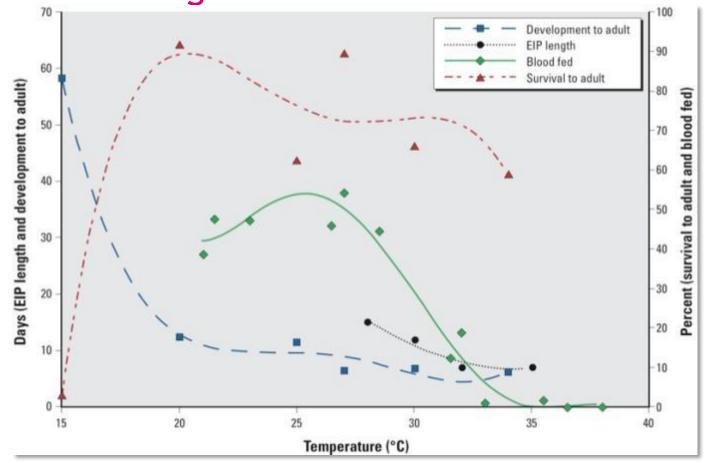


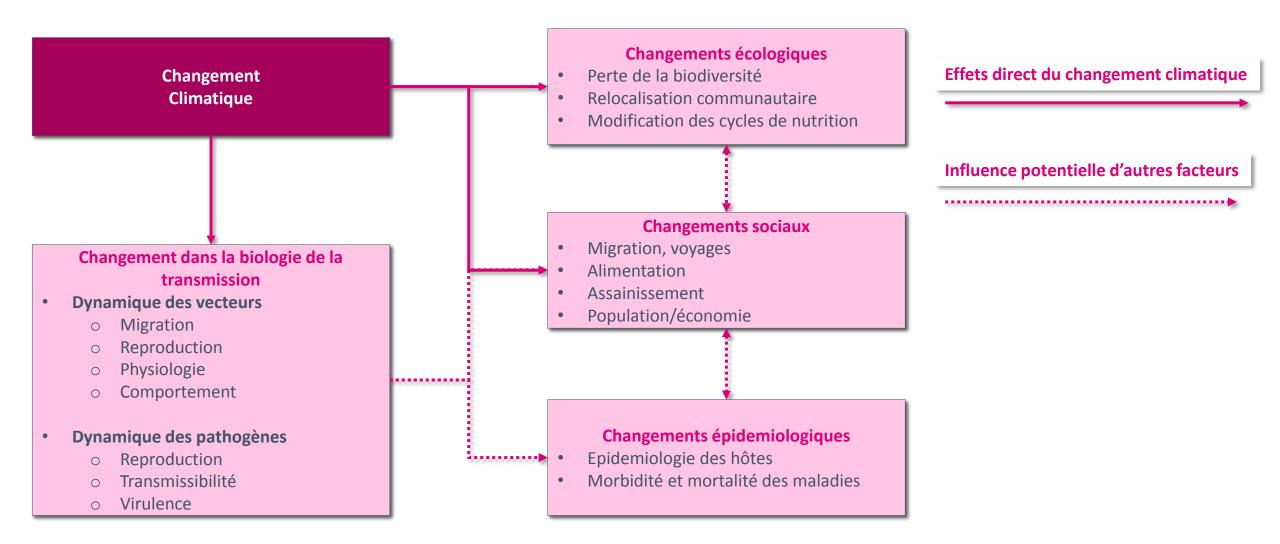
Figure 2. Responses from national infectious disease experts from EEA countries, 2009–2010, as to whether specific vector-borne diseases would be affected or not affected by climate change, 2009/2010. (A) West Nile fever. (B) Chikungunya fever. (C) Dengue. (D) Tularemia. No data on changes in the geographic range were collected for nonendemic diseases (dengue and tularemia).

Effets de la Température sur les Variables Associées à la Transmission de la Dengue

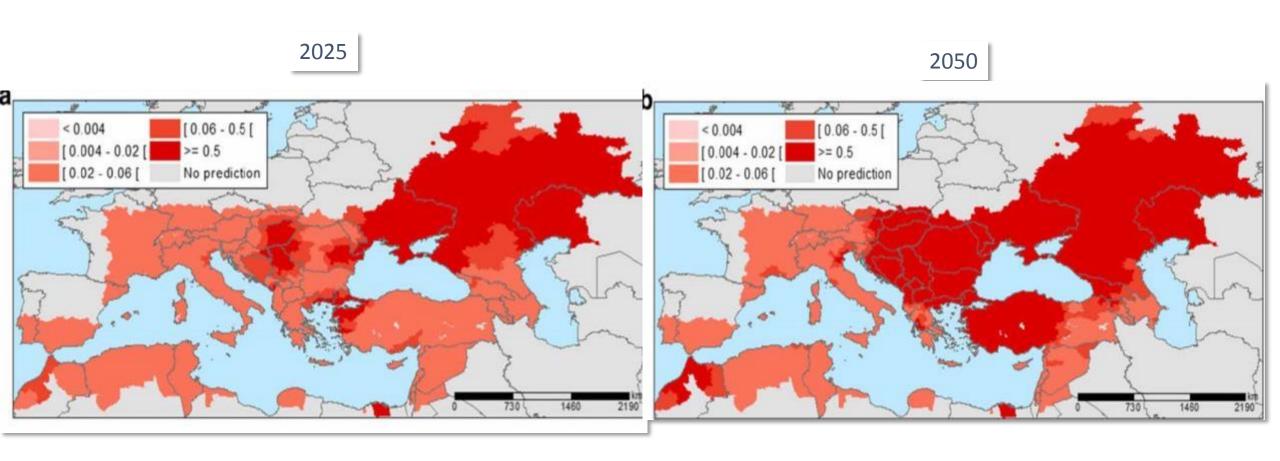


Délai (jours) pour le développement d'Ae. aegypti immature en forme adulte (Rueda et al. 1990), durée d'incubation extrinsèque pour DENV-2 (Watts et al. 1987), pourcentage d'Ae. aegypti ayant achevé un repas sanguin dans les 30 min (Morin CW, unpublished data), et pourcentage de larves d'Ae. aegypti survivant à l'âge adulte (Rueda et al. 1990).

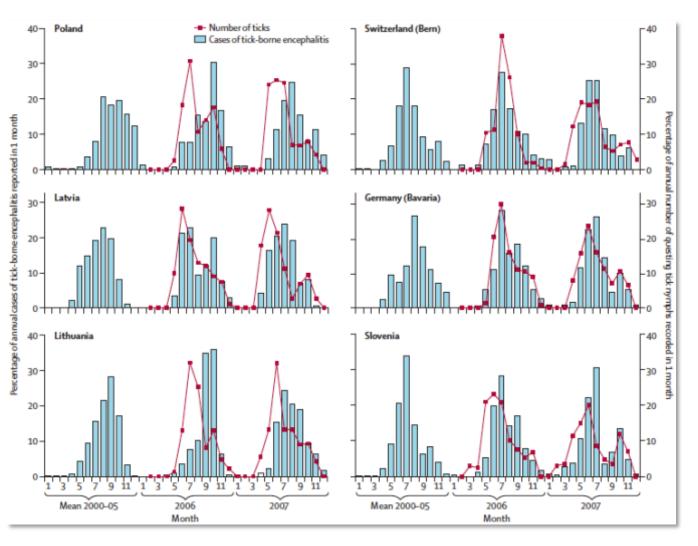
Cadre d'Évaluation sur la Recherche des Liens entre Changement Climatique et Maladies Infectieuses



West Nile Virus en Europe : Projections Liées au Changement Climatique



Variations Saisonnière des Cas d'Encéphalite à Tique et Abondance des Nymphes de Tiques (*Ixodes ricinus*)



Effets des Changements Climatiques sur les Maladies Infectieuses et Impact Possible sur leur Incidence et leur Fardeau (ii)

Maladies transmissibles par l'eau et par l'alimentation

Effets connus du climat

- Température : impact direct sur la survie et persistance des organismes pathogènes.
- Augmentation de la température de l'air et de l'eau :
 Amélioration de la survie et la prolifération de certains agents pathogènes (p. ex. Vibrio)
- Conditions climatiques : impact sur la disponibilité et la qualité de l'eau
- Fortes pluies et inondations : facilitation rapide du transport des pathogènes causant les maladies à transmission hydrique
- Déplacement des réfugiés liés aux inondations et autres phénomènes météorologiques extrêmes : risque accru de maladies transmises par l'eau et les aliments.

Impact possible du changement climatique

- Augmentation des températures et des précipitations :
 - Majoration de l'intensité
 - Majoration de la fréquence des maladies transmises par l'eau et l'alimentation
- Risques particulièrement élevés dans les Pays du Nord

Effets du Changement Climatique sur les Maladies Infectieuses et Impact Possible sur leur Incidence et leur Fardeau (iii)

Maladies à transmission aérienne

Effets connus du climat

- Possible diminution des maladies respiratoires avec l'augmentation des températures hivernales
- Augmentation des polluants atmosphériques nocifs en liaison avec les changements climatiques
 - Majoration des dommages causés aux membranes muqueuses de l'hôte
 - Facilitation des infections
- Migration forcée de réfugiés
 - Facilitation de la transmission des maladies dues au brassage des populations
 - Introduction de nouvelles maladies dans les populations non immunes

Impact possible du changement climatique

- Saisons hivernales plus courtes, plus chaudes, plus humides :
 - Possible réduction du nombre des maladies respiratoires

MAIS

- Effets contrebalancés par
 - Modifications de la qualité de l'air
 - Mouvement de masse des populations

Effets du Changement Climatique sur les Maladies Infectieuses et Impact Possible sur leur Incidence et leur Fardeau (iv)

Maladies fongiques invasives

Effets connus du climat

- Modifications écologiques et météorologiques : impact sur l'écologie et l'hydrologie des sols :
 - Persistance de pathogènes fongiques invasifs dans l'environnement
 - Libération de spores infectieuses

Étés chauds et secs, en association à des précipitations abondantes en hiver :

Impact possible du changement climatique

- Conditions optimales pour la sporulation des champignons et leur persistance
- Variations géographiques

Diagramme des Interactions entre des Variables Climatiques, les Vecteurs et les Virus

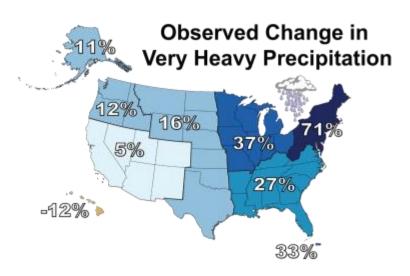
Rang	Déterminants	Exemples
1	Changements d'usage des sols, pratiques agricoles et agronomiques et procédés liés	Infection à virus Nipah en Asie du Sud-est, ESB
2	Changements démographiques, sociétaux et comportementaux	Coqueluche humaine, VIH, syphilis
3	Précarité et conditions sanitaires	Choléra, tuberculose
4	Liés à l'hôpital (nosocomial) ou à des erreurs de soins et de pratiques	Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa
5	Evolution des agents pathogènes (résistance aux antibiotiques, augmentation de virulence)	ERG, Chikungunya, A(H1N1), A(H5N1)
6	Contamination par les aliments ou l'eau	E. coli, ESB, Salmonella
7	Voyages et échanges humains intercontinentaux	Dengue, grippe saisonnière, grippe A(H5N1)
8	Défaut, désorganisation des systèmes de santé et de surveillance	Maladie du sommeil en Afrique centrale, maladies à tique et tuberculose en ex- URSS
9	Transports économiques de biens commerciaux et d'animaux	Virus Monkeypox, A(H5N1), Salmonella
10	Changement climatique	Paludisme en Afrique de l'Est, dengue en Asie du Sud-Est, leishmaniose viscérale dans l'Europe du Sud (forte suspicion)

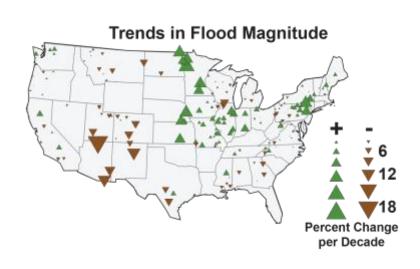
Changement Climatique : de l'Arctique aux Tropiques

	Maladies sensibles au climat				
Agents infectieux	Tropiques	Arctique			
Parasites	Paludisme; Leishmaniose Schistosomose; Trypanosomose	Giardioses; Cryptosporidiose Echinococcose multiloculaire Toxoplasmoses			
Bacteries	Méningite à méningocoque	Borréliose de Lyme ; Fièvre récurrente Tularémie; infections à <i>Vibrio parahemolyticus ;</i> Brucellose; Staphylococcus aureus multi-résistant Haemophilus influenza; Streptococcus pneumoniae Mycobacterium tuberculosis			
Rickettsies	Fièvre des montagnes rocheuses; Typhus Sud Africain à tique; Typhus à tique du Queensland;	Fièvre boutonneuse Méditerranéenne			
Virus	Dengue; Fièvre jaune; fièvre de la vallée du Rift; Infection à virus West Nile; Hantavirus; Fièvre du virus de la rivière Ross; Chikungunya; Fièvre hémorragique Crimée-Congo	Infection à Puumala virus; Encéphalite à tique; Encéphalite d'été Russe; Infection à virus West Nile; Chikungunya; Dengue Rage Hépatite A			

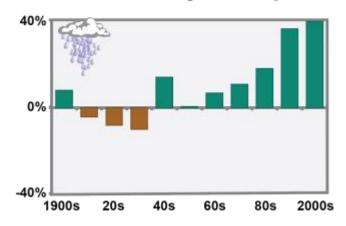
Changement Climatique et Maladies Infectieuses Humaines (i)

Évènements Météorologiques Extrêmes





Trends in Heavy Precipitation



Chikungunya, Dengue, Zika et Infections à Flavivirus*. Nombre de Cas Confirmés en France (du 1^{er} mai au 30 novembre 2018)

Régions	Cas confirmés importés			Cas confirmés autochtones				
	Dengue	Chikungunya	Zika	Flavivirus*	Co- infections	Dengue	Chikungunya	Zika
Grand-Est	9	0	0	0	0	0	0	0
Nouvelle Aquitaine	13	0	0	0	0	0	0	0
Auvergne-Rhône-Alpes	32	1	0	0	0	0	0	0
Bourgogne-Franche-Comté	0	0	0	0	0	0	0	0
Centre-Val-de-loire	0	0	0	0	0	0	0	0
Corse	1	0	0	0	0	0	0	0
Ile-de-France	31	0	0	0	0	0	0	0
Occitanie	34	2	0	0	0	3	0	0
Hauts-de-France	0	0	0	0	0	0	0	0
Pays de la Loire	8	0	0	0	0	0	0	0
Provence-Alpes-Côte d'Azur	61	3	0	0	0	5	0	0
Total	189	6	0	0	0	8	0	0

^{*} Impossible de déterminer si infection à West Nile ou dengue Cas comptabilisés uniquement pour les départements avec implantation d'Aedes albopictus

Diagramme des Interactions entre des Variables Climatiques, les Vecteurs et les Virus

Rang	Déterminants	Exemples
1	Changements d'usage des sols, pratiques agricoles et agronomiques et procédés liés	Infection à virus Nipah en Asie du Sud-est, ESB
2	Changements démographiques, sociétaux et comportementaux	Coqueluche humaine, VIH, syphilis
3	Précarité et conditions sanitaires	Choléra, tuberculose
4	Liés à l'hôpital (nosocomial) ou à des erreurs de soins et de pratiques	Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa
5	Evolution des agents pathogènes (résistance aux antibiotiques, augmentation de virulence)	ERG, Chikungunya, A(H1N1), A(H5N1)
6	Contamination par les aliments ou l'eau	E. coli, ESB, Salmonella
7	Voyages et échanges humains intercontinentaux	Dengue, grippe saisonnière, grippe A(H5N1)
8	Défaut, désorganisation des systèmes de santé et de surveillance	Maladie du sommeil en Afrique centrale, maladies à tique et tuberculose en ex- URSS
9	Transports économiques de biens commerciaux et d'animaux	Virus Monkeypox, A(H5N1), Salmonella
10	Changement climatique	Paludisme en Afrique de l'Est, dengue en Asie du Sud-Est, leishmaniose viscérale dans l'Europe du Sud (forte suspicion)

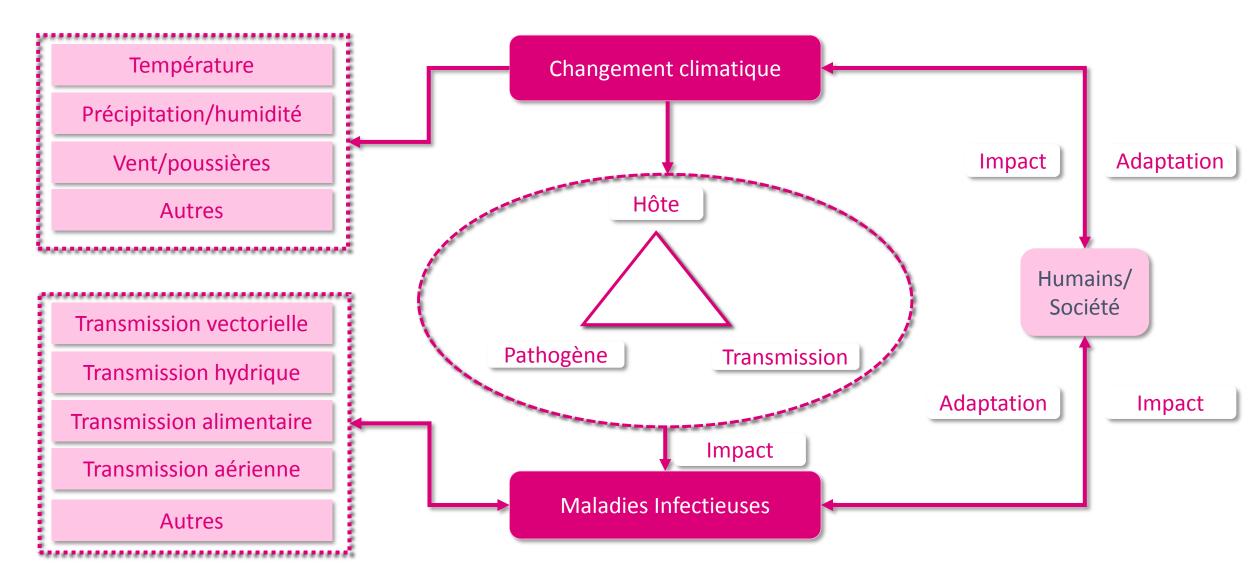
Changement Climatique : de l'Arctique aux Tropiques

	Maladies sensibles au climat				
Agents infectieux	Tropiques	Arctique			
Parasites	Paludisme; Leishmaniose Schistosomose; Trypanosomose	Giardioses; Cryptosporidiose Echinococcose multiloculaire Toxoplasmoses			
Bacteries	Méningite à méningocoque	Borréliose de Lyme ; Fièvre récurrente Tularémie; infections à <i>Vibrio parahemolyticus ;</i> Brucellose; Staphylococcus aureus multi-résistant Haemophilus influenza; Streptococcus pneumoniae Mycobacterium tuberculosis			
Rickettsies	Fièvre des montagnes rocheuses; Typhus Sud Africain à tique; Typhus à tique du Queensland;	Fièvre boutonneuse Méditerranéenne			
Virus	Dengue; Fièvre jaune; fièvre de la vallée du Rift; Infection à virus West Nile; Hantavirus; Fièvre du virus de la rivière Ross; Chikungunya; Fièvre hémorragique Crimée-Congo	Infection à Puumala virus; Encéphalite à tique; Encéphalite d'été Russe; Infection à virus West Nile; Chikungunya; Dengue Rage Hépatite A			

Climate Change and Health: An Analysis of Causal Relations on the Spread of Vector-Borne Diseases in Brazil

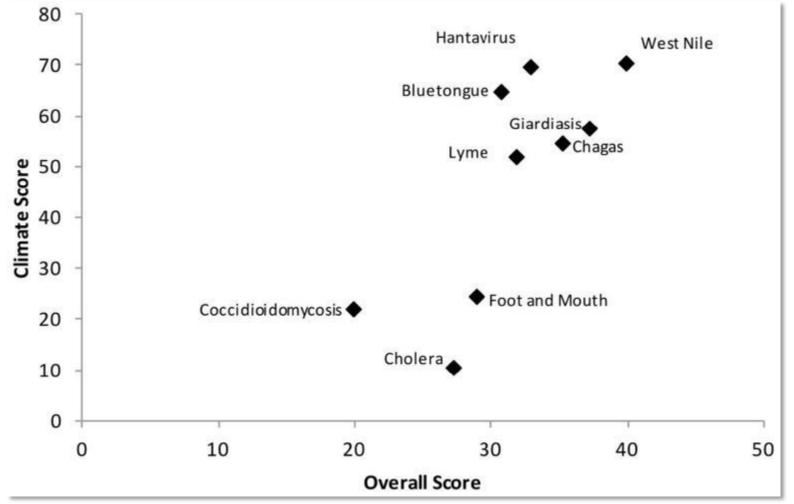
	Climate con	ditions	Extreme events		
	Temperature (↑/↓)	Prolonged precipitation* (↑/↓)	Drought	Flooding	
Vector	Development 1,2,3 ↑ accelerated egg and larvae development/breeding ↑ increased longevity and fertility of adults	Breeding sites 1,8,9 ↑ increased larvae habitat (accumulation of water)	Abundance 5,8 ↑ expanded vector range due to alternative breeding habitats (water storage in containers, pools, stagnant water bodies)	Abundance 1,9 ↑ inhibited development (harm of eggs, larvae, adults ↑ decrease in vector population ↑ reduced habitat	
	↓ larvae rigidity (survival over months)	Abundance 5,9,10 ↑ increase in vector population			
	Abundance ⁴ ↑ vector population growth	↑ favored geographical		,,	
	↑ favored geographical distribution ↑/↓ changes in seasonality	distribution/new habitat ↓ alternative habitat/breeding sites in urbanized areas	Survival/Behavior 4.5 ↑ reduction of vector life span ↑ reduced mosquito activity	Breeding sites ⁵ ↑ destruction of larvae habitat	
	Behavior 1,5 ↑ increased biting rate ↑ increased host contact ↓ refusal in feeding				
		Behavior ⁹			
	Survival ⁶ ↑/↓ depends on species, life cycle increased or decreased	sites like pools, water tanks, plant pots, garbage items,)			
=	Development 3,7,8	Prevalence 5,9,10	Infectiousness 4	Prevalence 1,9 ↑ inhibited circulation (decrease in vector population)	
	↑ increased replication rate Infectiousness 1,3	↑ increased spread due to accelerated development and	↓ susceptible host population increases after dry period due to a decreased virus prevalence and thus decrease in the susceptible.		
Pathogen	↑ increased extrinsic incubation period, vector is infectious sooner	distribution of vectors (breeding sites/surface water)			
	Seasonality ⁵ ↑ expected peak during warm season	* pattern and form of rainfall may have diverse impacts	immune defence during drought		

Changement Climatique, Maladies Infectieuses et Société Humaine



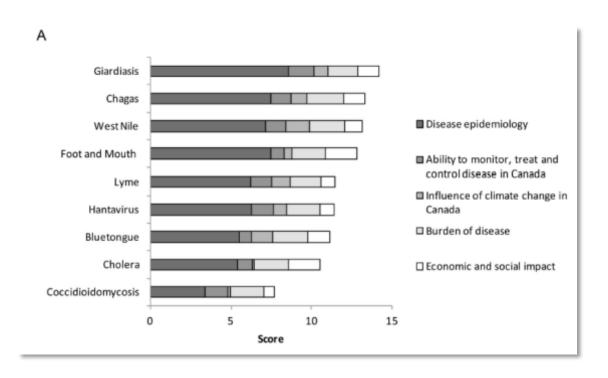
Multi-Criteria Decision Analysis Tools for Prioritising Emerging or Re-Emerging Infectious Diseases Associated with Climate

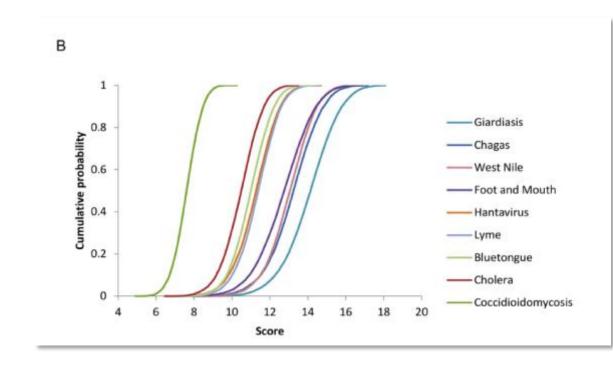
Change in Canada



Total score compared to the 'influence of climate' score for each of nine diseases in the MACBETH tool

Multi-Criteria Decision Analysis Tools for Prioritising Emerging or Re-Emerging Infectious Diseases Associated with Climate Change in Canada

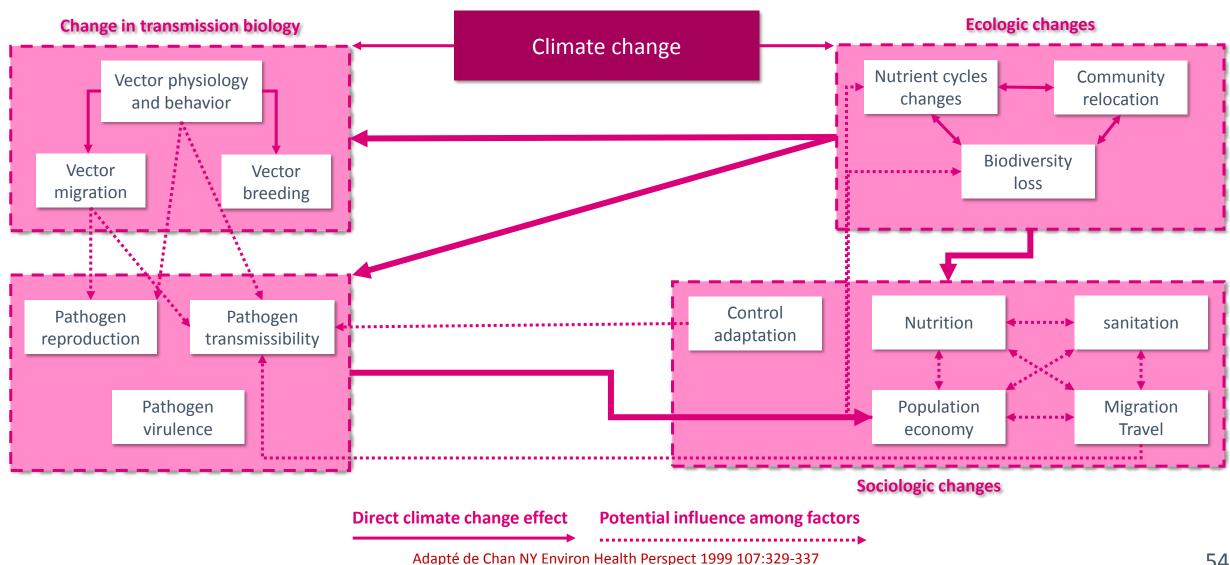




Disease ranking calculated in the spreadsheet tool for nine diseases.

A: Criteria were weighted using a fixed mean value based on expert opinion (weighting method 1). The maximum score possible for any disease was 23.7. B: Criteria were weighted using a probability distribution representing the range of expert opinion (weighting method 2). Cumulative probability distribution shows the total score over 10,000 iterations for each disease. The maximum score of a disease was a mean of 23.5 (standard deviation 62.37, 95th percentile = 27.2 after 10,000 iterations).

Integrated Assessment Framework for Evaluating Research on the Association Between Climate Change and Infectious Diseases



Bibliographie

- Greer A et al. Climate change and infectious diseases in North America: the road ahead. CMAJ. 2008;178(6):715-22.
- Liang L, Gong P. Climate change and human infectious diseases: A synthesis of research findings from global and spatio-temporal perspectives. Environ Int. 2017;103:99-108.
- Auld H et al. Heavy rainfall and waterborne disease outbreaks: the Walkerton example. J Toxicol Environ Health A. 2004;67(20-22):1879-87.
- Ogden NH et al. Climate change and the potential for range expansion of the Lyme disease vector Ixodes scapularis in Canada. Int J Parasitol. 2006;36(1):63-70.
- Kilpatrick AM, Randolph SE. Drivers, dynamics, and control of emerging vector-borne zoonotic diseases. Lancet. 2012;380(9857):1946-55.
- Lindgren E, Gustafson R. Tick-borne encephalitis in Sweden and climate change. Lancet. 2001;358(9275):16-8.
- Evander M, Ahlm C. Milder winters in northern Scandinavia may contribute to larger outbreaks of haemorrhagic fever virus. Glob Health Action. 2009 Nov 11;2.
- Powell A et al. Isolation of pandemic Vibrio parahaemolyticus from UK water and shellfish produce. Microb Ecol. 2013;65(4):924-7.
- Morin CW et al. Climate and dengue transmission: evidence and implications. Environ Health Perspect. 2013;121(11-12):1264-72.
- Beltrame A et al. Imported Chikungunya Infection, Italy. Emerg Infect Dis. 2007;13(8):1264-6.
- Teklehaimanot HD et al. Alert threshold algorithms and malaria epidemic detection. Emerg Infect Dis. 2004;10(7):1220-6.
- Sultan B et al. Climate drives the meningitis epidemics onset in west Africa. PLoS Med. 2005;2(1):e6.
- Pascual M et al. Cholera and climate: revisiting the quantitative evidence. Microbes Infect. 2002;4(2):237-45.
- Confalonieri UE et al. Climate change and adaptation of the health sector: The case of infectious diseases. Virulence. 2015;6(6):554-7.
- Wu X et al. Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. Environ Int. 2016;86:14-23.
- McMichael C. Climate change-related migration and infectious disease. Virulence. 2015;6(6):548-53.
- Semenza JC et al. Climate change projections of West Nile virus infections in Europe: implications for blood safety practices. Environ Health. 2016;15 Suppl 1:28.
- Lindgren E et al. Public health. Monitoring EU emerging infectious disease risk due to climate change. Science. 2012;336(6080):418-9.
- Amuakwa-Mensah F et al. Climate variability and infectious diseases nexus: Evidence from Sweden. Infect Dis Model. 2017;2(2):203-217.

Bibliographie

- Semenza JC et al. Mapping climate change vulnerabilities to infectious diseases in Europe. Environ Health Perspect. 2012;120(3):385-92.
- Dennis S, Fisher D. Climate Change and Infectious Diseases: The Next 50 Years. Ann Acad Med Singapore. 2018;47(10):401-404.
- Parkinson AJ et al. Climate change and infectious diseases in the Arctic: establishment of a circumpolar working group. Int J Circumpolar Health. 2014;73:25163.
- Evengard B, Sauerborn R. Climate change influences infectious diseases both in the Arctic and the tropics: joining the dots. Glob Health Action. 2009 Nov 11;2.
- Chan NY et al. An integrated assessment framework for climate change and infectious diseases. Environ Health Perspect. 1999;107(5):329-37.
- Cox R et al. Multi-criteria decision analysis tools for prioritising emerging or re-emerging infectious diseases associated with climate change in Canada. PLoS One. 2013;8(8):e68338.
- Heffernan C. Climate change and multiple emerging infectious diseases. Vet J. 2018;234:43-47.
- Liang L, Gong P. Climate change and human infectious diseases: A synthesis of research findings from global and spatio-temporal perspectives. Environ Int. 2017;103:99-108.
- Van Doorn HR. Emerging infectious diseases. Medicine 2017;45: 798-801

Climate Change 2014. Synthesis Report

