

# Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel : impacts du changement climatique

## AUTEURS :

É. Durand-Billaud, N. Berthol, A. Bijaoui, M. Bouselham, E. Peris, département Études et assistance médicales, INRS  
M. Bouslama, département Expertise et conseil technique, INRS

## EN RÉSUMÉ

De plus en plus de publications évoquent l'influence du changement climatique sur la transmission inter-espèces d'agents biologiques, notamment entre les animaux et les humains. Les épidémies et pandémies de ces 30 dernières années semblent corroborer cette hypothèse. Après un point sur les maladies transmises par les animaux et les vecteurs, un état des lieux des impacts du changement climatique est présenté, sur les agents biologiques, les vecteurs et les réservoirs. Les secteurs professionnels concernés sont répertoriés et la démarche de prévention est détaillée. Enfin, la santé au travail doit être partie prenante de l'approche *One Health* (santé humaine, animale et environnementale) pour prévenir et faire face à de nouvelles épidémies ou pandémies.

## MOTS CLÉS

Climat / Agent biologique / Risque biologique / Risque émergent / Travail à la chaleur / Évaluation des risques / Zoonose

**D**epuis l'alerte liée aux 18 cas de grippe aviaire à Hong Kong en 1997, divers événements ont marqué ces 30 dernières années dont l'épidémie de syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS) entre 2002 et 2004, liée à un coronavirus (SARS CoV), l'épidémie de Chikungunya (2005-2006), celle de grippe A H1N1 (entre 2009 et 2010) et la pandémie Covid-19 liée au SARS-CoV2 responsable depuis fin 2019 de plus de 6 millions de décès dans le monde. Bien que les épidémies et pandémies semblent s'intensifier depuis quelques années, il est nécessaire de rappeler que de nombreux épisodes ont eu lieu au cours des siècles précédents comme l'épidémie d'encéphalite léthargique (1915-1926) responsable de 1,5 million de décès, la grippe espagnole (1918-1920) à l'origine de 50 à 100 millions de décès, ou encore les épidémies de grippe asiatique (1957-1958) et de grippe de Hong

Kong (1968-1969) ayant engendré 1 à 4 millions de décès dans le monde. L'origine de la grande majorité de ces maladies était zoonotique ou vectorielle, l'agent biologique responsable devenant ensuite transmissible entre humains. En outre, la proportion des maladies infectieuses émergentes en rapport avec une zoonose est passée de 60 à 75 % en 20 ans [1, 2]. Bien que l'émergence de nouvelles maladies infectieuses dépende de facteurs multiples (cf. *Le changement climatique* p. 21 et *Effets du changement climatique sur les zoonoses et les maladies vectorielles* p. 24), le changement climatique semble jouer un rôle significatif en favorisant la prolifération d'agents pathogènes connus, le développement de nouveaux agents biologiques pathogènes ou de leurs vecteurs adaptés au changement environnemental ainsi qu'en déplaçant les zones de distribution

## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel: impacts du changement climatique

géographique de maladies infectieuses déjà connues. Par exemple, la dengue et le paludisme se propagent désormais vers des zones montagneuses d'Afrique où le climat était auparavant trop froid [3]. Pour la dengue, des cas autochtones ont été recensés en France depuis peu [4]. Il faut rappeler cependant que la Corse était impaludée avant l'épandage massif de DDT (dichloro-diphényl-trichloroéthane) lors du débarquement en 1943.

Une étude récente de Carlson et al. [5] suggère que le changement climatique augmente le risque de transmission inter-espèces, y compris vers les humains.

Après avoir défini les maladies infectieuses transmises par les animaux et les conséquences du changement climatique sur l'environnement, ce dossier dresse un état des lieux des connaissances concernant l'influence du changement climatique sur ces maladies. Il explore également les secteurs professionnels concernés et la démarche de prévention à mettre en œuvre, en lien avec les services de prévention et de santé au travail (SPST).

### MALADIES INFECTIEUSES TRANSMISES PAR LES ANIMAUX ET PAR LES VECTEURS

Le terme « zoonose » vient des racines grecques ζῷον (*zôon*, animal) et νόσος (*nosos*, maladie). Les zoonoses sont définies comme étant des maladies ou des infections naturellement transmissibles des animaux vertébrés à l'humain. La transmission se fait à partir d'un animal, ses produits biologiques ou son environnement (eau, sol, aliments, objets...). Certaines zoonoses

se transmettent par l'intermédiaire d'un arthropode vecteur (tiques, moustiques...), par exemple la Borréliose de Lyme *via* une piqûre de tique infectée.

Il existe également des maladies infectieuses transmises par des vecteurs et strictement humaines (non zoonotiques) telles que le paludisme, la dengue, le chikungunya ou le zika.

La chaîne de transmission des zoonoses et des maladies vectorielles est constituée de différents maillons. Chaque agent biologique pathogène est susceptible de se transmettre à une personne (hôte) à partir d'un réservoir, ici animal, selon des modes de transmission spécifiques qui font parfois appel à des hôtes intermédiaires invertébrés pour les cycles parasites complexes. Il y a un risque pour les humains de développer la maladie si son exposition correspond à la voie de transmission de l'agent biologique en cause [6] (tableau 1).

### ZOONOSES DIRECTEMENT TRANSMISES DE L'ANIMAL À L'HOMME

Les agents biologiques responsables des zoonoses peuvent être des bactéries, des virus, des champignons, des parasites. Le plus souvent, il s'agit de micro-organismes microscopiques mais dans certains cas, notamment pour les helminthes, il peut s'agir d'organismes de grande taille (*Taenia saginata* – ténia du bœuf – ou *Taenia solium* – ténia du porc – par exemple).

Aujourd'hui, 60 % des maladies infectieuses humaines ont historiquement une origine zoonotique et les zoonoses représentent jusqu'à 75 % des maladies infectieuses émergentes selon l'Organisation mondiale de la santé animale [7]. Il s'agit donc d'une préoccupation

majeure en termes de santé humaine mais aussi en termes économiques et sécuritaires.

L'émergence est définie comme « l'apparition d'une entité infectieuse soit entièrement nouvelle (exemple: SARS-CoV2), soit déjà connue mais dont l'augmentation est anormale, rapide ou inattendue, par exemple quant à sa distribution géographique, ses caractéristiques cliniques ou aux réponses aux thérapeutiques mises en place » (exemple : agent de la variole du singe) [8]. L'augmentation des contacts entre les animaux et les humains favorise les sauts d'espèces des agents infectieux à l'origine de l'émergence de zoonoses observée.

### ZOONOSES TRANSMISES PAR VOIE VECTORIELLE

Les maladies vectorielles, zoonotiques ou non, représenteraient plus de 17 % de l'ensemble des maladies infectieuses dans le monde. Elles sont à l'origine d'un million de décès chaque année [9] et font l'objet d'une surveillance en Europe [10].

Les vecteurs sont des arthropodes qui comprennent les insectes (moustiques, mouches...) et les arachnides acariens (tiques...). Ils sont pour la plupart hématophages, ce qui veut dire qu'ils se nourrissent de sang humain ou animal. Ils peuvent transmettre un agent biologique pathogène (virus, bactérie, parasite) à des êtres humains ou des animaux vertébrés, le plus souvent par transmission active (inoculation). En revanche, certaines espèces de mouches peuvent transmettre des agents biologiques pathogènes de façon passive en les déposant par contact cutané sur l'hôte (chez l'homme ou l'animal). Cependant, ces maladies ne sont pas qualifiées de maladies vectorielles (ex: salmonelloses, choléra...).

↓ **Tableau I**

> **LES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSMISSION D'UN AGENT BIOLOGIQUE EN LIEN AVEC UNE ZOOSE OU UNE MALADIE VECTORIELLE**

Transmission de l'agent biologique	Exemples d'exposition possible
Par voie respiratoire	En inhalant les gouttelettes émises lors de la toux d'animaux infectés. En inhalant les poussières d'un environnement contaminé notamment par des fientes d'oiseaux infectés.
Par voie digestive	En portant à la bouche des mains ou des objets contaminés. En mangeant, en fumant ou en vapotant avec des mains contaminées.
Par contact avec la peau ou les muqueuses	En touchant des objets contaminés. En recevant des projections de fluides biologiques ou d'eau contaminés sur le visage. En portant aux muqueuses du visage des mains contaminées.
Par inoculation	En se faisant piquer par un arthropode (tique...). En se coupant avec un matériel souillé.

Le système vectoriel est constitué de trois phases : la contamination du vecteur à l'occasion d'un repas sanguin sur un réservoir infecté, le développement de l'agent biologique au sein du vecteur, la transmission à un vertébré réceptif [11]. Par exemple, le cycle de vie des parasites responsables du paludisme (maladie vectorielle non zoonotique) se déroule à partir du tube digestif du moustique. Le parasite produit une protéine lui permettant de traverser l'épithélium des glandes salivaires du moustique et ainsi d'être transmis à un hôte lors d'un repas sanguin [12]. Ces trois phases de développement sont également décrites pour les agents infectieux contaminant des tiques [13].

Dans cet article, les maladies vectorielles non zoonotiques ne seront pas développées.

## LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

### DÉFINITIONS ET CONTEXTE

Selon les Nations unies, le changement climatique désigne les variations à long terme de la température

et des modèles météorologiques. Depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, les activités humaines constituent la cause principale du changement climatique, essentiellement en raison des émissions de gaz à effet de serre (GES). Ces gaz agissent comme une couverture autour de la Terre, emprisonnant la chaleur du soleil et entraînant une hausse des températures [14]. Cette définition résume de façon relativement complète les enjeux de l'absence de modifications dans les comportements humains ou les modes de production industriels. Des scénarios, proposés par Kemp et al. [15], prédisent l'augmentation de la température terrestre à l'horizon 2100 : en l'absence d'actions significatives, le changement climatique pourrait accroître la mortalité et la morbidité humaines en provoquant des événements en cascade (élévation du niveau des océans, événements climatiques extrêmes, déplacement des populations...). Kemp et al. [15] soulignent aussi la grande difficulté d'évaluer correctement les risques, de nombreux facteurs étant impliqués.

Depuis la première conférence sur le climat en 1979, de nombreux sommets internationaux ont eu lieu,

aboutissant notamment à la création de la COP (*Conference of Parties*) en 1992 qui fixe des objectifs de réduction des GES (**encadré 1 page suivante**). L'un des objectifs décidés par la COP est une limitation de l'augmentation de la température à +1,5 °C d'ici la fin du siècle. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) estime que cet objectif sera difficile à atteindre d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle sans une réduction immédiate et radicale des émissions des GES [16].

### CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Parmi les effets liés au changement climatique, cet article se concentre sur ceux pouvant avoir une influence sur les zoonoses et les maladies vectorielles.

### RÉDUCTION DE LA BIODIVERSITÉ

La biodiversité se réfère à la diversité des espèces vivantes (micro-organismes, végétaux, animaux) présentes dans un milieu. Certains auteurs ont comparé la proportion d'animaux sauvages, d'animaux domestiques et d'humains peuplant la planète entre le Néolithique (il y a 10 000 ans) et maintenant,

## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel: impacts du changement climatique

illustrant ainsi la diminution de la biodiversité (figure 1). Selon l'*Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES), depuis 50 ans le nombre d'espèces menacées d'extinction n'a cessé d'augmenter [17].

Au-delà des activités humaines qui contribuent largement à réduire la biodiversité (déforestation, élevage intensif...), le changement climatique peut également modifier les écosystèmes, entraînant la migration des espèces vers d'autres régions plus adaptées, voire un risque d'extinction pour celles qui n'ont pas les capacités d'adaptation suffisantes.

### FONTE DU PERGÉLISOL

Le terme « pergélisol » (en anglais *permafrost*) désigne la partie du sol gelée en permanence (en dessous de 0 °C), au moins pendant deux ans, et de ce fait imperméable. Le pergélisol polaire est celui qui est présent dans les hautes latitudes. Il recouvre 25 % de la surface émergée de l'hémisphère nord incluant 90 % du territoire du Groenland, 80 % de l'Alaska, 50 % du Canada et de la Russie (Sibérie). En Sibérie le pergélisol polaire est continu au-delà du 60° degré de latitude nord, mais il est aussi présent au niveau des hautes altitudes (chaîne himalayenne) sous forme discontinue et sporadique (figure 2).

L'épaisseur du pergélisol est très étroitement liée au changement climatique, ce qui en fait ainsi un indicateur du réchauffement climatique. Sa fonte a déjà provoqué la réactivation et la libération d'agents biologiques, par exemple la bactérie responsable de l'anthrax, dont les effets pathogènes possibles restent à ce jour imprévisibles (cf. *Effets du changement climatique sur les zoonoses et les maladies vectorielles* p. 24). En outre, un dégel rapide pour-

### ↓ Encadré 1

#### > HISTORIQUE DES ACTIONS INTERNATIONALES POUR AGIR SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

##### Conférence de Toronto 1988 et ses suites

Les débuts de la politique internationale sur le changement climatique remontent à 1979. C'est lors de la conférence mondiale sur le climat, tenue à Genève et organisée par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), que le changement climatique a été reconnu comme un problème grave de portée mondiale.

La conférence de Toronto, en 1988, a lancé un premier appel en faveur d'objectifs concrets de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est également créé en 1988. Son mandat est « d'évaluer, sans parti pris et de manière méthodique, claire et objective, les informations scientifiques, techniques et socioéconomiques disponibles en rapport avec la question du changement climatique ».

En 1990, est organisée à La Haye la deuxième conférence mondiale sur le climat. Elle se termine par un appel en faveur de l'adoption d'un traité international sur le changement climatique. Cet appel se concrétise à Rio de Janeiro en 1992 (premier Sommet de la terre) par l'adoption de la convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique avec pour objectif de « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » (art. 2 de la convention). Son entrée en vigueur a lieu en 1994 et la convention a aujourd'hui été ratifiée par 165 États signataires.

Le texte de la convention appelle l'ensemble des signataires à préserver le système climatique dans l'intérêt des générations présentes et futures. Il établit la conférence des parties (*Conference of the Parties* ou COP, en anglais), sa plus haute autorité de prise de décision. Celle-ci se réunit annuellement pour tenter de progresser dans la mise en œuvre de la convention.

##### La COP

La première COP s'est tenue à Berlin en 1995 et depuis, chaque année, un sommet mondial réunit les décideurs, les scientifiques, les membres de la société civile ainsi que le public désireux d'y assister. Les décisions visant à lutter contre le changement climatique sont adoptées par consensus. Une ville de chaque continent est invitée, à tour de rôle, à organiser la COP. Certains de ces sommets ont permis l'adoption de décisions notables. Ainsi, le protocole de Kyoto a été adopté en 1997 lors de la COP3. Ce texte, relativement contraignant, fixait comme objectif à 55 pays industrialisés la réduction d'au moins 5 % des émissions de GES entre 2008 et 2012 par rapport au niveau de 1990. En 2015, lors de la COP21, l'accord de Paris a été signé par la très grande majorité des parties en présence. Il s'agissait du premier traité international de réduction des émissions, visant à contenir le réchauffement climatique bien en deçà de 2 °C et si possible à 1,5 °C par rapport à l'ère préindustrielle. La majorité des règles d'application de l'accord de Paris furent adoptées lors de la COP24 en Pologne en 2018.

rait augmenter considérablement les quantités de GES émises par les plantes et animaux anciens gelés (dioxyde de carbone, méthane...) créant ainsi un cercle vicieux d'auto-aggravation.

### EFFETS SUR LES OCÉANS [19]

La fonte accrue des glaces dans les régions polaires au cours des dernières décennies a accéléré

l'élévation du niveau de la mer, intensifiant les cyclones tropicaux et exacerbant les phénomènes extrêmes tels que les ondes de tempête mortelles et autres risques côtiers (inondations, érosions et glissements de terrain). En outre, la fréquence des vagues de chaleur océanique a doublé; elles sont également plus longues, plus intenses et plus étendues.

Figure 1: Poids relatif des différents vertébrés terrestres entre le Néolithique et actuellement [8].

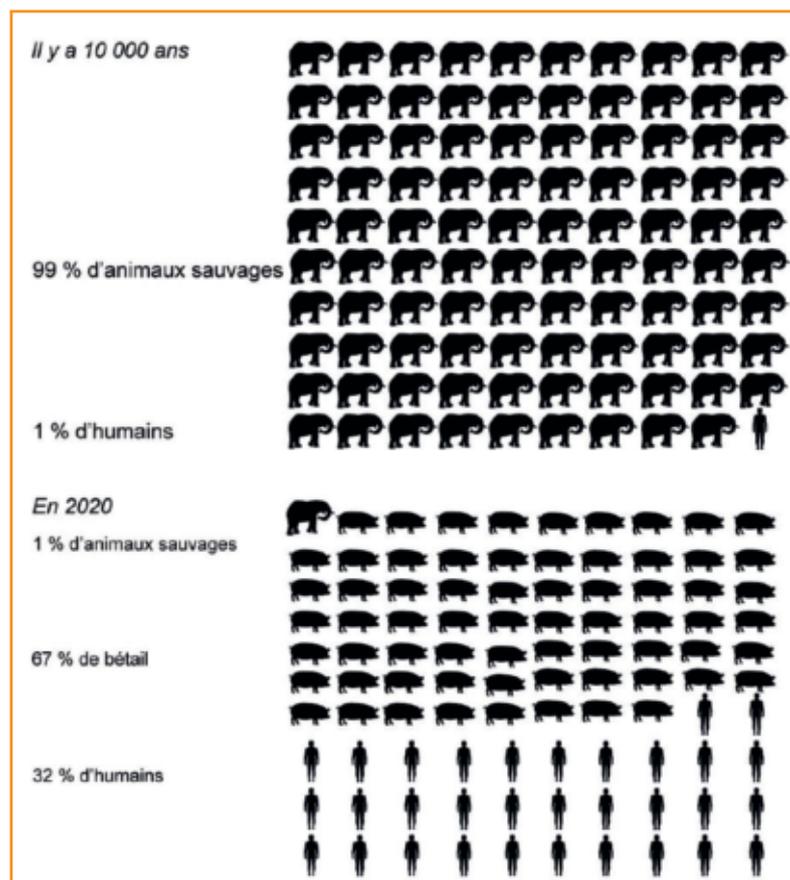
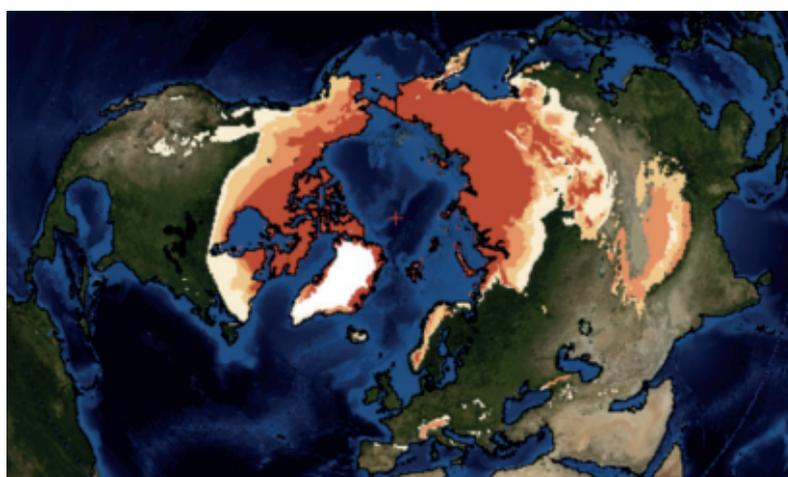


Figure 2: Zones de pergélisol continu (en rouge) et discontinu et sporadique (en orange) [18].



Source: ©hkeita/shutterstock

Par ailleurs, la hausse des températures augmente le risque de disparition irréversible des écosystèmes marins et côtiers. De profonds changements ont été observés, tels que la détérioration des récifs coralliens (blanchissement en raison de la perte des algues microscopiques qui leur sont essentielles) et des mangroves qui concourent à la vie dans les océans, ou la migration d'espèces vers des latitudes et des altitudes plus élevées, où l'eau est plus froide. Actuellement, l'impact de ces modifications sur le nombre et la fréquence des zoonoses et maladies vectorielles est peu étudié. Toutefois, il convient de rester vigilant en raison de l'interdépendance des différents facteurs tels que la réduction de la biodiversité et les changements d'habitat de certains mammifères marins. Par exemple, la transmission de zoonoses par des phoques a déjà été décrite [20, 21].

### CHANGEMENTS DANS LE PROFIL DES PRÉCIPITATIONS ET AUGMENTATION DE LA SÉCHERESSE

Une augmentation de la fréquence ou de l'intensité des précipitations en Amérique du Nord et en Europe a été constatée par les experts du GIEC, renforçant ainsi les risques d'inondations. De plus, les précipitations hivernales prennent plus fréquemment la forme de pluies que de neige suite à l'élévation des températures, ce qui augmente aussi les risques d'inondations. Cette évolution peut accroître le risque de maladies à transmission hydrique telles que la leptospirose (cf. *Sur les réservoirs animaux – Rongeurs* p. 27). Dans le même temps, l'intensité et la fréquence des périodes de sécheresse dans le bassin méditerranéen ainsi que dans les zones tropicales et intertropicales sont observées. Ce contraste

## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel: impacts du changement climatique

entre zones sèches et humides devrait s'accroître et concerner la majeure partie du globe dans les prochaines années. La **figure 3** propose le scénario le plus pessimiste de l'Agence européenne pour l'environnement sur l'évolution des précipitations annuelles et estivales pour la période 2071-2100 en comparaison à la période de référence 1971-2000 [22].

### MODIFICATION DES VENTS

Selon plusieurs sources, le changement climatique est à l'origine de modifications des vents, phénomène qui concerne de façon différente les vents de basse altitude et ceux des altitudes élevées [23, 24]. Dans les zones de basse altitude, les vents devraient diminuer alors que ceux des altitudes élevées devraient se renforcer fortement, créant ainsi des événements climatiques extrêmes. La diffusion (dissémination) de plusieurs zoonoses

par les vents est documentée dans la littérature médicale concernant, notamment, des maladies comme la fièvre Q, l'échinococcose, l'hydatidose, ou encore la leishmaniose, les agents biologiques à l'origine de ces maladies pouvant être retrouvés dans l'environnement (sol, végétaux...). Cependant, l'impact spécifique de la modification des vents sur ces zoonoses n'est pas strictement établi [25 à 28].

### EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES ZONOSSES ET LES MALADIES VECTORIELLES

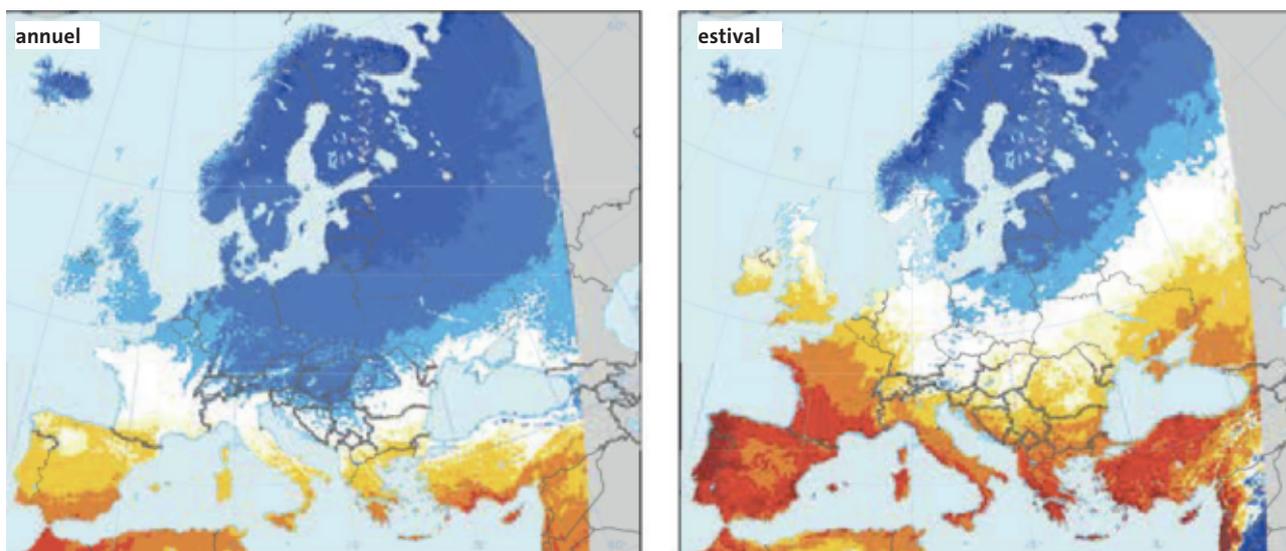
#### SUR LES AGENTS BIOLOGIQUES PATHOGÈNES

La survie, la reproduction et la distribution des agents biologiques pathogènes peuvent être influen-

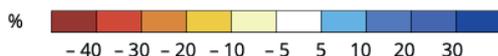
cées par le changement climatique. Ainsi, la température a un impact sur le cycle de vie des agents biologiques. Son augmentation au niveau des plans d'eau peut favoriser la prolifération des micro-organismes. Les précipitations peuvent également remuer les sédiments dans l'eau, conduisant à une augmentation de la concentration de micro-organismes. D'autre part, les sécheresses peuvent entraîner une diminution du débit des rivières, augmentant ainsi la concentration d'agents pathogènes d'origine hydrique dans les effluents. De plus, le vent pourrait favoriser la dissémination des agents pathogènes des zoonoses aéroportées.

Une étude parue en 2017 portant sur 157 agents pathogènes zoonotiques en Europe, a mis en évidence que 99 d'entre eux (soit 63 %) étaient sensibles à des paramètres climatiques tels que les précipitations ou la température [29]. En outre, cette étude

Figure 3: Scénario d'évolution des précipitations en Europe [22]



Scénarios d'évolution des précipitations annuelles (à gauche) et estivales (à droite)



suggérerait que les agents biologiques responsables de zoonoses seraient plus sensibles aux modifications climatiques que d'autres en raison de leur mode de transmission et de leur réservoir. Ces modifications pourraient notamment participer aux changements de la distribution spatiale de certains agents biologiques mais aussi à l'émergence de nouveaux agents pathogènes [30]. Par exemple, les leptospires peuvent survivre pendant plusieurs semaines dans des conditions environnementales favorables telles que l'eau ou le sol mouillé à pH neutre ou légèrement alcalin et à l'abri des UV. La leptospirose, dont l'incidence a augmenté en France ces dernières années, est considérée comme une maladie émergente, notamment en raison du changement climatique et des phénomènes climatiques extrêmes dont les inondations [31]. Plusieurs études ont montré une association entre les zoonoses aéroportées et les conditions météorologiques. La tuberculose bovine, causée par *Mycobacterium bovis*, est transmise à l'homme par inhalation d'aérosols contaminés. Des études ont suggéré que les modifications climatiques prévues en Irlande et au Royaume-Uni (hivers plus doux et plus humides) [32, 33] pourraient offrir des conditions plus favorables à la survie de *Mycobacterium bovis* dans l'environnement [34]. D'autres agents biologiques pathogènes présents dans l'environnement (par exemple hantavirus, *Bacillus anthracis* et *Coxiella burnetii*) [34, 35] pourraient être transportés par de forts vents de régions endémiques vers d'autres régions [36].

En outre, l'augmentation de la température pourrait être à l'origine de réactivation de certains agents zoonotiques. À titre illustratif, une épidémie d'anthrax (*Bacillus anthracis*) a eu lieu en 2016 en Sibérie (région

arctique) alors que cette maladie n'est habituellement pas présente sous ces latitudes. Cette épidémie a causé la mort d'une personne et de 2 000 rennes et a été attribuée à la fonte du pergélisol. Les carcasses infectées par les bactéries/spores sont en effet remontées à la surface en raison de la fonte de la glace, contaminant le sol et la végétation qui sert d'alimentation aux rennes [37].

## SUR LES VECTEURS

Le changement climatique peut impacter plusieurs paramètres liés aux vecteurs, tels que la modification de leur aire de distribution, leur taux de mortalité, leur activité, leur cycle de développement et de reproduction, ainsi que leur densité de population. Les changements dans les profils de précipitations vont notamment entraîner une modification des cycles saisonniers et de la répartition géographique des maladies vectorielles [38 à 40].

Dans cette partie sont développés trois exemples de vecteurs : moustiques, tiques et phlébotomes.

## MOUSTIQUES

Certaines espèces de moustiques peuvent être les vecteurs de nombreuses maladies dont certaines sont des zoonoses provoquées le plus souvent par des virus : virus du *West Nile*, virus de l'encéphalite de Saint Louis, virus de l'encéphalite japonaise, virus de la *Rift Valley fever* (RVF)...

Les moustiques sont très sensibles au climat. Leur cycle de vie, leur reproduction et leur alimentation dépendent en grande partie de la température et des précipitations. Selon Cormier [41], toutes les étapes du cycle de développement des moustiques sont impactées par la température, avec des limites maximale et minimale au-delà desquelles ils ne peuvent survivre [42,

43]. En général, la limite thermique supérieure pour la survie des moustiques (immatures et adultes) est comprise entre 32 et 38 °C, selon les espèces et les souches. Néanmoins, une forte diminution de la survie peut être observée entre les températures optimales (25 à 28 °C) et ces limites critiques [44].

Quand la température augmente, les moustiques peuvent migrer ou être importés dans des régions qui étaient auparavant plus froides et ne permettaient pas jusqu'alors leur survie. En revanche, en cas de températures trop élevées, la mortalité des larves peut augmenter, réduisant ainsi le nombre de vecteurs. Par ailleurs, la durée d'acquisition de la maturité de certains moustiques est inversement proportionnelle à la température. L'augmentation de la durée de la saison chaude, notamment dans l'hémisphère nord, accélère le cycle de reproduction des moustiques et la multiplication des générations adultes au cours d'une année, et augmente donc le nombre de personnes qui risquent de contracter une infection par piqûre. Au Canada, ce phénomène provoque une augmentation de 10 % des maladies en rapport avec une piqûre de moustique depuis le début des années 2000 [45 à 47].

L'humidité et les sites d'eau stagnantes qui en résultent peuvent favoriser la phase de développement aquatique des moustiques [48] et ainsi augmenter le risque d'être piqué, en particulier lors d'une activité professionnelle à l'extérieur [49, 50]. *A contrario*, la sécheresse augmente la durée de leur cycle de maturation. Enfin, le vent peut également avoir un effet sur les distances parcourues par les arthropodes, notamment les moustiques, mais cela diminue aussi leur capacité à piquer.

Même s'il n'est pas en lien direct avec le changement climatique, un

## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel: impacts du changement climatique

1. Ce type de transport contribue cependant directement à l'augmentation de la production de gaz à effet de serre.

autre facteur reconnu pour jouer un rôle dans l'extension géographique des zoonoses et des maladies vectorielles en rapport avec des moustiques est l'intensification des transports aériens et maritimes<sup>1</sup>; cela concerne les zoonoses et maladies vectorielles importées qui peuvent se développer localement si les conditions environnementales sont favorables au vecteur.

Par exemple, la dengue sévit majoritairement en zone tropicale et inter tropicale. Cependant, *Aedes albopictus*, l'un des deux vecteurs de cette maladie, est aussi présent en zone tempérée, notamment en Europe, y compris en France métropolitaine où quelques épisodes de transmission ont été identifiés [4].

### TIQUES

Les tiques peuvent être responsables de la transmission d'agents biologiques pathogènes tels que ceux de la maladie de Lyme et de l'encéphalite à tique qui sont des zoonoses. Tout comme les moustiques, les tiques sont très dépendantes du changement climatique [51].

La maladie de Lyme, causée par la bactérie *Borrelia burgdorferi sensu lato*, est transmise par une tique du genre *Ixodes* (en Europe de l'Ouest, *Ixodes ricinus*). En France, cette tique se retrouve sur tout le territoire métropolitain, sauf sur la côte méditerranéenne et au-dessus de 1 500 à 2 000 m d'altitude. Elle vit dans les forêts, lisières et prairies et peut être présente dans les zones boisées péri-urbaines, parcs en ville et jardins privés. Elle a besoin pour survivre de retrouver régulièrement une certaine humidité. Les tiques ont une activité saisonnière d'avril à novembre dans les régions à climat continental.

Les modifications climatiques ont une influence directe sur le cycle de développement des tiques, leur survie, ainsi que sur leur période d'activité. En outre, la densité et la répartition géographique des tiques peuvent être impactées indirectement par les modifications climatiques du fait de leurs effets sur la végétation et la densité de leurs hôtes.

Les tiques *Ixodes ricinus* sont plus sensibles que les autres tiques aux conditions d'humidité et de température, ce qui conditionne leur survie [52, 53].

Toutefois, d'autres espèces de tiques comme *Hyalomma* qui transmettent la fièvre hémorragique de Crimée Congo, non identifiées en Europe jusqu'à très récemment, colonisent le pourtour méditerranéen à la faveur du réchauffement climatique. En octobre 2023, et pour la première fois en France, le virus de la fièvre hémorragique de Crimée-Congo a été détecté dans des tiques de l'espèce *Hyalomma marginatum* collectées sur des bovins dans les Pyrénées-Orientales et en Corse. Aucun cas humain n'a été diagnostiqué en France à ce jour [54]. Néanmoins, le risque de contamination est maintenant démontré car des tiques *Hyalomma* infectées par le virus sont présentes dans le sud de la France [54 à 57].

Certains facteurs indirects pourraient être responsables d'une extension de l'habitat des tiques vers les régions du nord de la planète [58]:

- l'évolution de la végétation avec le développement de hautes herbes à des latitudes où il n'y en avait pas auparavant;
- la déforestation qui peut entraîner le déplacement des populations de tiques;
- l'augmentation des précipitations

et des inondations qui modifie le taux d'humidité dans de nombreuses régions du globe;

- la présence d'hôtes animaux nécessaire au développement, notamment des nymphes.

### PHLÉBOTOMES

Les phlébotomes sont de tout petits insectes qui peuvent être vecteurs d'agents biologiques pathogènes divers: *Leishmania*, *Bartonella*, *Phlebotomus* et *Vesiculovirus*. En Europe, ces insectes sont surtout présents au niveau du pourtour méditerranéen (Grèce et Italie notamment) [59]. Ils se nourrissent du sang de nombreux mammifères et oiseaux. Selon Cormier [41], les seuils de température et d'humidité optimales varient selon les espèces de phlébotomes. En règle générale, une température de l'air d'environ 25 °C avec une humidité relative de 60 %, sont des conditions favorables pour de nombreuses espèces [60].

La maladie la plus fréquente transmise par les phlébotomes est la leishmaniose qui peut prendre une forme viscérale ou cutanée selon le parasite en cause et la région géographique. Les réservoirs habituellement décrits sont les humains et les mammifères à sang chaud (chiens, renards...). Une recrudescence des cas de leishmaniose canine et humaine a été observée ces dernières années sur le pourtour méditerranéen. Cette augmentation de cas pourrait être expliquée par la hausse de la température ambiante favorisant le développement des phlébotomes et l'extension de leur distribution géographique [61, 62].

### SUR LES RÉSERVOIRS ANIMAUX

Avec le changement climatique, le comportement des réservoirs (animaux vertébrés ou humains) peut

se modifier, facilitant la transmission des agents pathogènes. Ainsi, par exemple, il existe un impact potentiel sur les migrations d'animaux, ce qui augmente les contacts entre les humains et les animaux sauvages dans des zones où cela n'avait pas lieu antérieurement [29].

Certaines espèces se rapprochent les unes des autres alors qu'elles n'étaient pas en contact auparavant. Au Canada, par exemple, de nouveaux réservoirs animaux peuvent être en contact avec des tiques en raison de l'extension vers le nord du territoire de vie de ces derniers [51].

Une autre hypothèse intéressante, avancée par certains auteurs, est celle de « l'effet de dilution ». Intuitivement, on pourrait penser qu'une diminution de la biodiversité permettrait d'être exposé à moins d'agents biologiques pathogènes d'origine animale. Or il semble, qu'au contraire, plus la diversité en espèces animales est importante, plus le risque de transmission zoonotique diminue. Cela peut s'expliquer par le fait que certaines espèces, dites « culs-de-sac », peuvent s'infecter sans participer à la transmission du pathogène à l'homme [63 à 65]. Ces hôtes incompétents permettent de freiner le cycle de transmission. C'est, par exemple, le cas de certains mammifères sauvages (cervidés, suidés...) et de certains oiseaux pour la maladie de Lyme (figure 4).

Certains auteurs avancent comme autre hypothèse que la diminution du nombre de « proies » augmenterait la probabilité que l'une d'entre elles soit attaquée par un prédateur. Ce principe appliqué aux zoonoses et aux maladies vectorielles permet de comprendre que la diminution de la biodiversité peut

avoir des conséquences sur le rapport prédateurs (vecteurs)/proies (réservoirs) et sur la transmission d'agents infectieux [8].

Trois exemples de réservoirs sont détaillés : rongeurs, chauves-souris et oiseaux.

### RONGEURS

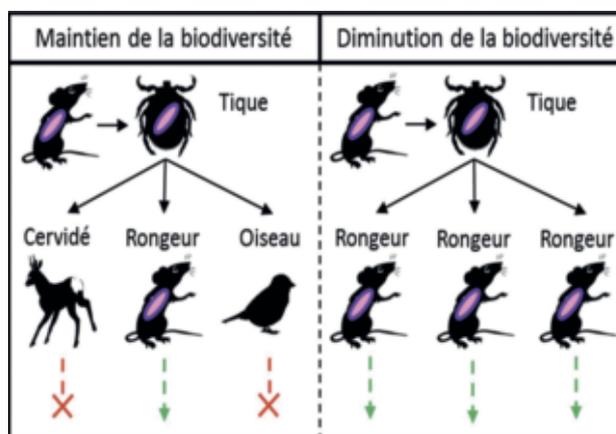
Les rongeurs constituent les principaux réservoirs de zoonoses. Selon l'agent biologique pathogène en cause, la transmission est possible soit par piqûre de tiques infectées, soit par contact direct avec les animaux infectés ou l'environnement souillé par leurs fluides. Ces animaux sont de plus en plus nombreux à vivre à proximité des zones urbaines. Les vagues de chaleur peuvent contraindre les rongeurs à se déplacer pour rechercher de l'eau et de la nourriture, augmentant ainsi les interactions homme-rongeur. Les fortes pluies pourraient avoir un impact sur la culture de denrées alimentaires, comestibles par les rongeurs, facilitant ainsi leur prolifération. Les

précipitations intenses peuvent augmenter le transfert de microorganismes pathogènes d'origine animale vers le milieu aquatique par le biais du rejet d'eaux usées et du ruissellement du sol, ce qui augmente la charge microbienne des eaux de surface. L'incidence de certaines maladies (hantaviruses et leptospirose), transmises par les rongeurs et liées aux aléas ou évolutions climatiques, s'est modifiée en Europe. La figure 5 (page suivante) montre les pays européens actuellement touchés par les maladies transmises par les rongeurs. Des exemples de maladies transmises par des rongeurs sont développés ci-dessous.

### Fièvre hémorragique avec syndrome rénal (FHSR) ou hantavirose

Les hantavirus sont des virus pathogènes transmis par les rongeurs. En Europe, *orthohantavirus de Puumala* (PUUV) est responsable de la majorité des cas de maladie humaine d'hantavirose. L'infection se

Figure 4 : Illustration de l'effet de dilution sur la transmission de la maladie de Lyme avec une souche *B. burgdorferi* spécialiste des rongeurs [66]



**Rouge :** hôtes incompétents **Vert :** espèces responsables de la transmission

## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel: impacts du changement climatique

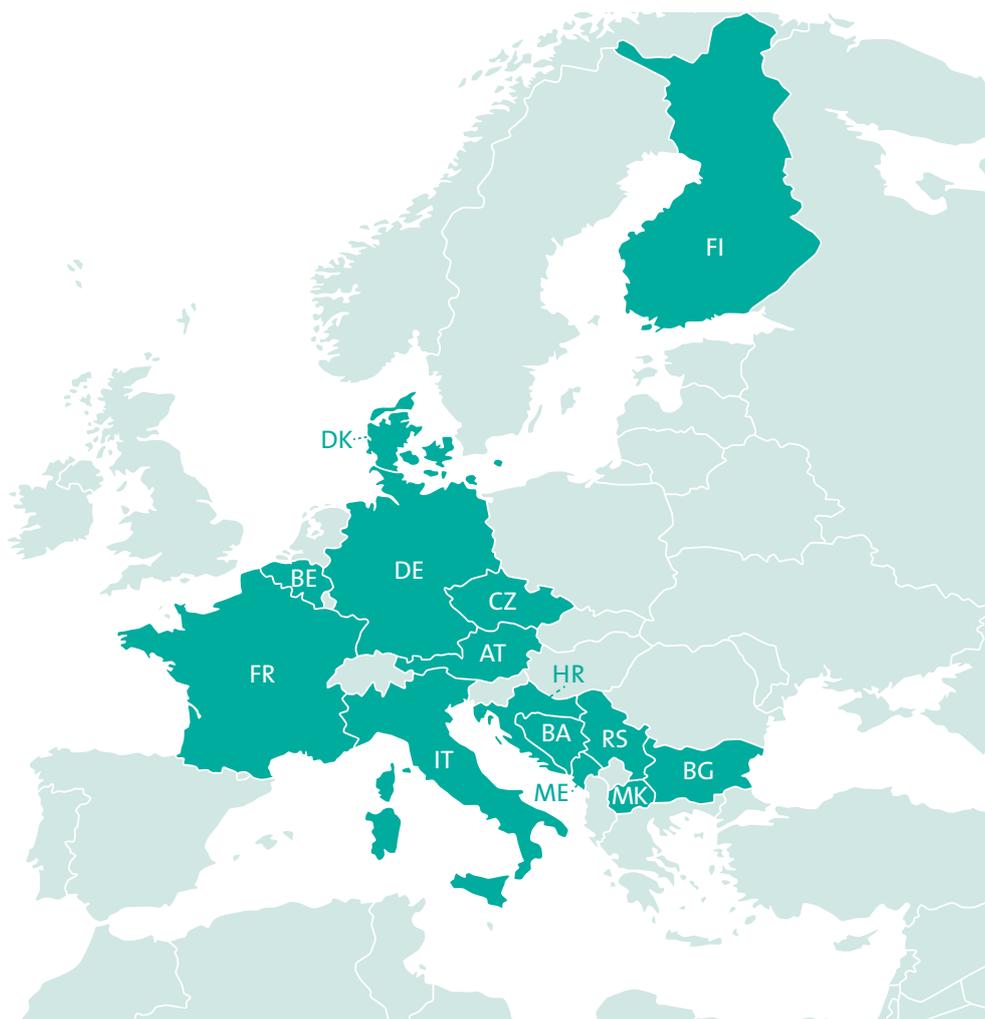
produit principalement par inhalation de poussière contaminée par la salive, les fèces ou l'urine d'animaux infectés, ou par contact de la peau lésée avec des matériaux contaminés et plus rarement par morsure. Elle se manifeste classiquement par une FHSR, connue sous le nom de néphropathie épidémique. En France, la maladie humaine est surtout observée autour du massif des Ardennes avec comme réservoir le campagnol roussâtre.

Les phénomènes météorologiques extrêmes tels que les tempêtes, les fortes pluies, ainsi que les incendies dus à la sécheresse, pourraient accroître la prolifération de campagnols et par conséquent sur l'incidence de la maladie en France.

L'étude de Zeimes et al. [68] a mis en évidence une association positive entre le risque de FHSR et les précipitations annuelles en France, en Belgique et en Finlande. Cela pourrait être attribué soit à une meilleure survie du virus chez les réservoirs animaux ou dans un environnement humide, soit à la migration de ces rongeurs à la recherche de nourriture lorsque les conditions climatiques se détériorent. Les fortes pluies en automne auraient pu contraindre les campagnols roussâtres à se regrouper davantage en hiver et à accroître leurs contacts sociaux. Les pluies auraient pu aussi induire une altération physiologique les rendant plus vulnérables vis-à-vis du virus. Les pluies pourraient également favoriser une persistance accrue du virus dans l'environnement [69].

De la même façon, aux États-Unis une épidémie liée à *Hantavirus sin nombre* (autre espèce d'hantavirus responsable du syndrome pulmonaire à hantavirus – SPH) est apparue en 1993 et s'est répandue sur tout le continent américain. Elle a

**Figure 5: Pays européens où des maladies transmises par les rongeurs, liées aux inondations, ont été signalées** (FI : Finlande ; DK : Danemark ; FR : France ; BE : Belgique ; DE : Allemagne ; CZ : République tchèque ; AT : Autriche ; IT : Italie ; HR : Croatie ; BA : Bosnie-Herzégovine ; RS : République de Serbie ; ME : Monténégro ; MK : Macédoine du Nord ; BG : Bulgarie) [67].



été rapportée à une pullulation des souris sylvestres (réservoir animal) du fait d'une production plus abondante de graminées suite à l'augmentation des pluies consécutives au phénomène *El Niño*. Un hiver rigoureux a poussé les souris à chercher refuge dans les habitations, favorisant ainsi le contact entre la population locale et les souris (leurs déjections) entraînant un nombre important de cas de SPH [70].

### Leptospirose

Causée par des bactéries appelées leptospires, la leptospirose se manifeste par un syndrome pseudo-gripal anictérique dans 80 % des cas. Cependant, une atteinte multi-viscérale de pronostic plus sévère est possible après quelques jours d'évolution.

Parmi les espèces réceptives, les rongeurs, qui sont des réservoirs de ces bactéries, jouent un rôle crucial en

tant que porteurs rénaux excréant les leptospires dans leurs urines. Ils sont qualifiés de porteurs sains non sensibles à la maladie mais qui peuvent la transmettre.

La transmission de la leptospirose se fait par contact des muqueuses ou de la peau lésée avec les urines des animaux excréteurs ou les eaux douces souillées par ces urines. La survie des leptospires émis par les animaux dans l'eau est favorisée par un pH neutre ou légèrement alcalin et une température supérieure à 4 °C. Les variations de température et de précipitations peuvent entraîner des déplacements des rongeurs, mais également favoriser la survie des leptospires dans l'environnement. La sécheresse peut aussi réduire le débit des rivières, provoquer une augmentation des concentrations d'agents pathogènes dans les effluents, ou encore favoriser la concentration des espèces de mammifères autour des points d'eau, entraînant une augmentation du nombre d'animaux contaminés. Les inondations augmentent le risque de transmission de cette zoonose en favorisant le contact entre les animaux réservoirs et les humains, ainsi que la contamination des eaux de crue et les dommages causés aux réseaux d'eau et d'assainissements. Des cas sporadiques et épidémiques de leptospirose rapportés à des inondations ont déjà été documentés dans différents pays. Ainsi, par exemple, en 2007, en Allemagne, des cas de leptospirose d'origine professionnelle chez des cueilleurs saisonniers dans une ferme productrice de fraises ont été attribués à un hiver exceptionnellement chaud qui a favorisé la croissance et l'expansion de campagnols. Le risque de maladie augmentait avec chaque journée passée à travailler sous la pluie et l'origine la plus probable de cette épidémie était le contact direct

des mains lésées avec l'eau ou le sol contaminés par les rongeurs infectés [71]. En France, trois cas de leptospirose ont été signalés suite à de fortes pluies pendant une grève des éboueurs lorsque les déchets non collectés dans les zones urbaines ont attiré les rongeurs [72].

### CHAUVES-SOURIS

Les chauves-souris sont des réservoirs de nombreux virus zoonotiques [73]. Elles sont considérées comme le plus important réservoir mammifère de virus à ARN et ont été impliquées dans l'émergence de plusieurs épidémies zoonotiques majeures telles que le SRAS, le MERS (syndrome respiratoire du Moyen-Orient) ainsi que des maladies liées aux virus Nipah et Hendra [74]. Bien que leur rôle ait été évoqué dans la pandémie de la Covid-19, il n'a pas été confirmé à ce jour [75] même s'il est démontré que la structure génétique du SARS CoV 2 a pour ancêtre lointain un virus de chauve-souris. De plus, les chauves-souris pourraient également être le réservoir de nombreuses bactéries pathogènes et de parasites [76].

En France, chaque année, quelques chauves-souris sont identifiées comme étant infectées par le virus *Lyssavirus* (virus apparenté à celui des rages canines et vulpines mais différent). Deux cas de rage humaine sont survenus à ce jour liés à une transmission par une chauve-souris (un en 2008 en Guyane et un en 2019 en France hexagonale) [77]. Dans le cas rapporté en 2019, il s'agissait du *Lyssavirus hamburg* - EBLV-1. Ces cas restent cependant exceptionnels.

Les chauves-souris peuvent être impactées par le changement climatique de différentes manières. Les fortes canicules peuvent entraîner des décès prématurés chez certaines espèces. De plus, la diminu-

tion de la population d'une espèce donnée peut favoriser des hybridations entre espèces conduisant au développement d'autres plus résistantes ou qui se déplacent plus facilement, notamment vers des zones de hautes altitudes (espèces pouvant survivre en montagne) ou des régions plus fraîches ou plus tempérées. Ce phénomène, similaire à celui observé chez les tiques au Canada (remontées vers le nord en raison de températures plus clémentes), est également observé chez les chauves-souris [78].

### OISEAUX

Les oiseaux représentent un important réservoir d'agents biologiques zoonotiques pouvant transmettre des maladies infectieuses à l'homme selon divers mécanismes [79]. On distingue essentiellement trois voies de transmission directes :

- la voie respiratoire, notamment en inhalant des poussières contaminées par des fientes et des sécrétions respiratoires des oiseaux infectés. Cette transmission peut être responsable de pathologies pulmonaires chez l'homme (exemples : grippe aviaire et ornithose-psittacose);
- la voie cutanéomuqueuse, par exemple en portant des mains contaminées aux muqueuses du visage (exemple : *Influenza A...*);
- la voie digestive, en portant des mains ou objets souillés à la bouche (exemple : salmonellose...).

Les oiseaux migrateurs peuvent également transporter et disséminer des tiques infectées pouvant servir de vecteur pour des agents biologiques (exemples : borréliose de Lyme, fièvre de Crimée-Congo). Enfin, les oiseaux sont porteurs de maladies à transmission vectorielle par des moustiques du genre *Culex* telles que la fièvre du Nil occidental

## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel: impacts du changement climatique

ou l'encéphalite japonaise liée au virus *Usutu*.

Des exemples de zoonoses transmises par les oiseaux sont présentés ci-dessous.

### Grippe aviaire à H5N1

Le virus H5N1 hautement pathogène est un virus *Influenza* de type A, appartenant à la famille des *Orthomyxoviridae*, comme le virus de la grippe humaine. Le terme « influenza aviaire » est utilisé pour la maladie des oiseaux, tandis que « grippe aviaire » fait référence à la maladie chez les humains.

Le réservoir naturel des virus *Influenza* A est principalement représenté par les oiseaux aquatiques [80 à 83] bien qu'ils sont retrouvés également chez d'autres espèces d'oiseaux (par exemple les passe-reaux). Parmi ces virus, on trouve le virus influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) H5N1. La qualification de « hautement pathogène » concerne la maladie chez les oiseaux (volailles) : la présence d'un site de clivage polybasique sur l'hémagglutinine rend le virus plus contagieux chez les oiseaux mais ne préjuge pas des effets sur la santé humaine.

Les virus influenza aviaires sont excrétés dans les fèces et les sécrétions respiratoires des oiseaux. La transmission entre oiseaux peut se faire directement par voie digestive, respiratoire ou oculaire, mais également *via* un environnement contaminé (aliment, eau, matériels...). La dissémination du virus dans diverses zones géographiques est facilitée par la migration des oiseaux mais aussi par le transport illicite d'oiseaux sauvages ou domestiques malades ou en incubation [84 à 88]. La diffusion des virus influenza aviaires est influencée par divers mécanismes. Le réchauffement climatique modifie la distribution

et les territoires de vie des oiseaux (toutes espèces confondues) vers le nord pour l'hémisphère nord et vers le sud pour l'hémisphère sud. Les périodes de migrations sont également affectées [89 à 93]. D'ici à 2030, les IAHP devraient être plus susceptibles de provoquer des épidémies aviaires pendant les mois de janvier et février en Europe et d'avril à juin en Afrique du Nord et en Asie de l'Ouest [94], alors qu'habituellement, dans l'hémisphère nord, une augmentation des cas est observée entre octobre et novembre jusqu'à mars. Par ailleurs, les évolutions des virus IAHP par réassortiment génétique peuvent leur conférer un pouvoir pathogène accru pour des espèces autochtones non strictement migratrices comme les laridés (mouettes, goélands, sternes...) et entraîner la présence du virus sur le territoire de la France hexagonale tout au long de l'année.

Peu d'études relatives à l'influence du climat sur la diffusion du virus H5N1 sont disponibles. Toutefois, une étude récente sur l'épidémiologie et l'écologie des virus influenza aviaires en Arctique a mis en évidence le rôle des migrations et de la redistribution géographique des différentes espèces dans la diffusion des virus influenza aviaires. Le changement climatique influence les périodes de reproduction ainsi que la disponibilité des nutriments dans cette région. Ces facteurs doivent être pris en compte pour comprendre la dynamique d'extension et de redistribution de ces virus [95].

Un autre facteur à prendre en compte est celui des contacts entre les oiseaux sauvages et domestiques, en particulier ceux d'élevage. L'intensification de l'élevage et les modifications des flux migratoires aviaires ont probablement contri-

bué à la diffusion du virus H5N1 [82, 85, 87]. À ce jour, aucune étude publiée n'a examiné l'impact de la déforestation sur la diffusion de ce virus.

### Ornithose-Psittacose [96, 97]

L'ornithose-psittacose désigne la maladie chez l'homme due à la bactérie *Chlamydia psittaci* ; la chlamydie aviaire désigne la maladie animale (quelle que soit l'espèce d'oiseau impliquée). Plusieurs génotypes de *Chlamydia* sont décrits, plus ou moins spécifiques d'une espèce aviaire donnée.

La bactérie est principalement excrétée dans les fientes et dans les sécrétions des voies aériennes supérieures par les oiseaux infectés, souvent en l'absence de signes cliniques. La principale voie de transmission entre oiseaux est la voie respiratoire.

L'être humain se contamine essentiellement par inhalation d'aérosols (poussières ou gouttelettes contaminées par des fientes ou des sécrétions oculo-nasales d'oiseaux infectés).

Contrairement au virus H5N1, les auteurs de ce présent article n'ont pas retrouvé de donnée concernant l'influence du changement climatique, que ce soit sur la maladie animale ou humaine. Toutefois, on peut former l'hypothèse que les modifications entraînées par le changement climatique (périodes de pontes, disponibilité des nutriments, périodes de migration...) pourraient avoir une influence sur l'incidence de l'ornithose-psittacose.

En conclusion de cette partie, la **figure 6** résume les différents effets du changement climatique sur les zoonoses et les maladies vectorielles.

## SECTEURS PROFESSIONNELS À RISQUE

Le changement climatique a des conséquences sur le risque et l'incidence des zoonoses et les maladies vectorielles qui viennent d'être décrites. Ainsi, tous les professionnels exposés à ce type de risque sont potentiellement concernés [99], plus particulièrement ceux exerçant des métiers les mettant en contact régulièrement avec des réservoirs animaux ou des vecteurs.

## MÉTIERS EN CONTACT AVEC DES ANIMAUX

Tous les métiers nécessitant d'être en contact avec des animaux vivants ou morts peuvent être concernés:

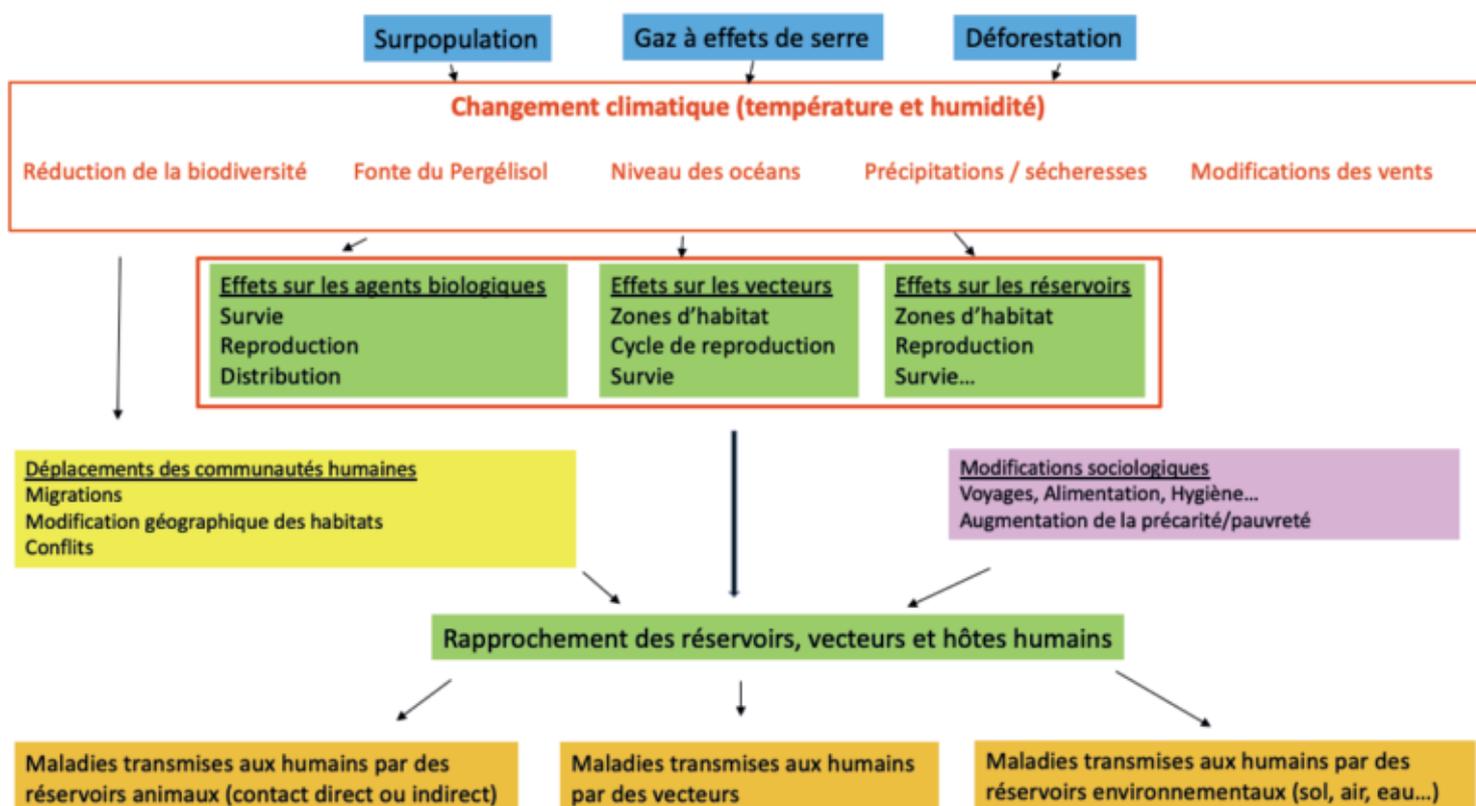
- professionnels exerçant dans des zoos, animaleries mais aussi les vétérinaires et le personnel exerçant dans des cabinets vétérinaires;
- professionnels des secteurs de l'élevage, des abattoirs et l'équarrissage;
- personnels des laboratoires de recherche utilisant des animaux ou des arthropodes.

## MÉTIERS EXERCÉS DANS DES MILIEUX NATURELS

Il s'agit des métiers exercés dans les forêts, les parcs et jardins (gardes forestiers, gardes-chasse, jardiniers, bûcherons, paysagistes...).

Les travailleurs exerçant en milieu aquatique (entretien des berges, des rivières et des canaux, pêcheurs, surveillants de zones de loisirs, moniteurs de sports aquatiques...) peuvent également être exposés. Enfin, toutes les activités agricoles et d'élevage ayant lieu en extérieur sont concernées.

Figure 6 : Les différents effets du changement climatique sur les zoonoses et les maladies vectorielles (d'après [14 (figure 1) et 98])



## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel : impacts du changement climatique

### MÉTIERS LIÉS À L'ENVIRONNEMENT.

Il s'agit plus particulièrement des métiers en rapport avec la collecte et le traitement des eaux usées et des déchets... (ripeurs, égoutiers, techniciens des stations d'épuration, techniciens de gestion des déchets, hydrogéologues...).

### AUTRES SECTEURS D'ACTIVITÉS

Peuvent notamment être concernés :

- d'autres métiers s'exerçant à l'extérieur et possiblement en contact avec un environnement contaminé (par exemple sol...) ou des animaux vivants ou morts : personnels du BTP, d'entretien des toitures, de terrassement...;
- les personnels amenés à voyager régulièrement dans le cadre de leur travail (personnels des compagnies aériennes ou maritimes par exemple);
- les expatriés qui peuvent également être exposés à des agents biologiques différents de ceux qu'ils côtoient habituellement.

Le **tableau II** propose quelques exemples de maladies zoonotiques d'origine professionnelle potentielle avec les principaux secteurs concernés.

## PRÉVENTION

### SYSTÈMES DE SURVEILLANCE ET D'ALERTE

La prévention des épidémies de maladies infectieuses d'origine animale repose sur une surveillance sanitaire de la population humaine ainsi que sur une surveillance microbiologique de la faune sauvage, des eaux, des sols... afin d'identifier les nouveaux agents biologiques susceptibles de devenir pathogènes

pour les humains. Les zoonoses et les maladies vectorielles font ainsi l'objet d'une surveillance attentive au niveau mondial, européen et en France. Les principaux acteurs impliqués dans cette surveillance sont détaillés dans l'**encadré 2 p. 34**.

### DÉMARCHE DE PRÉVENTION EN ENTREPRISE

L'évaluation du risque biologique est facilitée par l'utilisation de la chaîne de transmission, et consiste tout d'abord à identifier le(s) réservoir(s) potentiellement présent(s) sur les lieux de travail, puis à repérer les tâches, équipements et procédés susceptibles de générer des expositions pouvant correspondre aux voies de transmission des principaux agents biologiques susceptibles d'être présents dans le(s) réservoir(s).

À côté des mesures de lutte contre le réchauffement climatique en lui-même, la prévention des risques liés aux maladies vectorielles et zoonotiques consiste à rompre cette chaîne de transmission en agissant en premier lieu sur le réservoir, puis lorsque cela ne suffit pas, sur l'exposition du travailleur en accordant la priorité aux mesures collectives et organisationnelles.

Les mesures de lutte vétérinaire visent à anticiper les risques zoonotiques en empêchant la constitution d'un réservoir animal. Cela inclut le contrôle sanitaire des animaux, la mise en quarantaine de ceux nouvellement importés, la vaccination des animaux, le repérage et le traitement des animaux malades, l'optimisation des conditions d'élevage. Les procédures de désinsectisation, de dératisation ou encore d'abatage des animaux en cas de foyer infectieux contribuent également à éliminer les réservoirs.

Si ces mesures de lutte permettent de limiter grandement le risque zoo-

notique en France, celles-ci ne sont pas toujours suffisantes, en particulier pour les zoonoses dont le portage est asymptomatique chez les animaux (porteurs sains). Il est donc nécessaire d'évaluer les risques et de compléter ces mesures par des mesures organisationnelles, collectives et individuelles dans les secteurs professionnels concernés.

En élevage, les mesures de biosécurité préviennent et limitent l'introduction d'agents pathogènes, et leur propagation au sein de l'élevage et dans l'environnement, ce qui participe aussi à diminuer de façon indirecte le risque d'infection chez les professionnels. Le principe est de séparer les différentes zones et de gérer les flux en respectant le principe de marche en avant (circulation du secteur le moins à risque vers le plus à risque de contamination). Il peut s'agir, notamment, d'isoler les animaux malades, de séparer les zones contaminées des autres zones (bureaux, local de restauration...), de limiter l'accès des personnes dans les lieux où séjournent les animaux malades.

Les mesures de protection collective incluent la mécanisation des tâches, l'utilisation de moyens de contention animale, la mise en place d'une ventilation adaptée, ainsi que le nettoyage et la désinfection des locaux et des matériels contaminés.

En complément, lorsqu'il persiste des risques résiduels, l'employeur doit fournir les équipements de protection individuelle (EPI) adaptés en fonction des expositions repérées comme pouvant être à risque, selon les tâches réalisées : vêtement de protection, gants lors de la manipulation de matières potentiellement contaminées, appareil de protection respiratoire en cas de risque par inhalation et lunettes de protection pour se protéger des éventuelles

↓ Tableau II

> EXEMPLES DE MALADIES AVEC SECTEURS CONCERNÉS [100]

Maladie	Mode d'exposition en milieu professionnel	Exemples de secteurs ou d'activités professionnelles pouvant être concernées
Hantavirose	Inhalation de poussière pouvant être contaminée avec des excréta de rongeurs (campagnol roussâtre) infectés, plus particulièrement dans la région Nord-Est de la France.	Coupe de bois, débardage du bois, manipulation de bois stocké en forêt ou à domicile. Activités agricoles, avec manipulation de matières végétales, de vieux foin, tonte de pelouse... Nettoyage (surtout si balayage) de poulaillers, de granges, de remises, ou encore de caves ou de greniers. Activités du bâtiment telles que la rénovation de maisons anciennes, bricolage, travaux de terrassement. Manipulations d'objets dans une cave, grenier, garage, grange, remise à outils.
Leptospirose	Contact de la peau lésée (plaies y compris morsure, excoriation ou macération), ou des muqueuses (conjonctive, nez, bouche) avec les urines d'un animal infecté (notamment rongeurs, chiens, bovins, renards, sangliers) ou avec des eaux douces ou un sol contaminés par ces urines.	Activités au contact des animaux : vétérinaires, éleveurs. Activités dans les égouts et certaines activités dans les stations d'épurations. Entretien/curage des canaux, étangs, lacs, rivières, berges... Activités en eau douce : pisciculture, pêche, plongeurs professionnels, animateurs de loisirs aquatiques, sportifs professionnels... Activités spécifiques aux collectivités d'outre-mer et départements régions d'outre-mer (COM-DROM) comme les activités dans les bananeraies, coupe de la canne à sucre.
Fièvre Q	Inhalation de particules infectantes issues le plus souvent de la laine et des produits de mises-bas des animaux (surtout bovins, caprins, ovins).	Activités au contact des animaux contaminés ou leur environnement souillé : - mises-bas, manipulations de produits de parturition (placentas, avortons) (vétérinaires, éleveurs...); - tonte et métiers de la laine ; - tannage ; - paillage ; - curage et nettoyage des locaux ; - épandage de fumier et lisier ; - certaines activités en abattoir et équarrissage.
Dengue	Piqûres de moustiques infectés ( <i>Aedes</i> ) dans les zones où la dengue est présente.	Toutes les activités en extérieur pouvant exposer à des piqûres de moustiques infectés.
Influenza aviaire	Inhalation de poussières contaminées par les déjections ou les sécrétions respiratoires d'oiseaux infectés.	Travaux au contact étroit avec des oiseaux ou volailles infectés ou leur environnement souillé : - éleveurs (et leurs familles), techniciens et vétérinaires avicoles ; - équipes d'intervention pour euthanasie, dépeuplement des oiseaux, nettoyage, désinfection, ramassage des cadavres, équarrisseurs.
Anthrax	Contact cutané sur peau lésée, ou blessure, ou encore inhalation de particules infectantes provenant soit d'animaux malades ou morts de charbon (carcasses, fluides biologiques, abats, peau, poils, os, toison, onglons...), soit d'un environnement contaminé (« champs maudits »).	Travail au contact d'animaux d'élevage ou sauvages : - éleveurs ; - vétérinaires ; - métiers chargés de la surveillance de la chasse et de la faune sauvage ; - équarrisseurs. Activités en lien avec la laine, les poils, les peaux ou les os d'animaux possiblement infectés notamment mégisseries. Activités en contact avec des sols contaminés (« champs maudits ») : travaux publics...

poussières et projections sur les muqueuses oculaires.

Pour prévenir les maladies vectorielles, des actions telles que la destruction des gîtes larvaires des moustiques ou la tonte des hautes herbes (pour limiter le contact avec les tiques) peuvent être mises en place pour éviter le risque le plus

en amont possible. Le port de vêtements couvrants et l'usage raisonné de répulsifs voire d'insecticides viennent compléter ces mesures. Il est également recommandé d'inspecter scrupuleusement toute la surface du corps après chaque exposition possible à des tiques afin de les repérer et de les retirer précocement.

Dans tous les cas, le respect des mesures d'hygiène, telles que le lavage des mains après contact avec les animaux ou leur environnement souillé et le changement régulier des vêtements de travail, est essentiel.

En complément, certaines vaccinations pourront être recommandées

## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel: impacts du changement climatique

### ↓ Encadré 2

#### > ZONOSSES ET MALADIES VECTORIELLES: PRINCIPAUX ACTEURS DE LA SURVEILLANCE ET DE L'ALERTE

##### Au niveau mondial

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS), l'Organisation mondiale de la santé animale (ex OIE, maintenant OMSA) et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ont mis en place en 2006 un système mondial d'alerte et de réponse précoces pour les maladies animales, dont les zoonoses, « GLEWS + » (*Global Early Warning System for health threats and emerging risks at the human–animal–ecosystems interface* - système mondial d'alerte précoce pour les menaces sanitaires et les risques émergents à l'interface homme-animal-écosystèmes). Ce système combine et coordonne les mécanismes d'alerte et de réponse, partage les informations sur les foyers de maladies animales et sur les analyses épidémiologiques, afin d'améliorer la précocité des alertes et des interventions.

##### En Europe

La directive 2003/99/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur la surveillance des zoonoses et des agents zoonotiques (modifiant la décision 90/424/CEE du Conseil et abrogeant la directive 92/117/CEE du Conseil) établit les exigences minimales à respecter dans tous les pays de l'Union européenne pour renforcer les systèmes de surveillance des maladies transmises entre les animaux et les humains. Chaque pays de l'Union est chargé de la mise en place et du maintien de son système de surveillance [101].

Le Centre européen de prévention et de contrôle des maladies (ECDC), créé en 2005, vise à renforcer la défense de l'Europe contre

les maladies infectieuses. Sa mission est d'identifier, d'évaluer et de communiquer les menaces actuelles et émergentes pour la santé humaine liées aux maladies infectieuses. Des informations actualisées sur les zoonoses et les maladies vectorielles sont également disponibles dans la revue *Eurosurveillance* de l'ECDC (journal accessible sur le site <https://www.eurosurveillance.org/>).

##### En France

Plusieurs structures et agences participent à la surveillance de l'évolution des zoonoses et des maladies vectorielles. Les mesures à prendre sont décidées par les autorités nationales et régionales. Parmi les structures impliquées, on peut citer notamment :

- Santé Publique France (SPF) qui coordonne la veille sanitaire et fournit des informations épidémiologiques actualisées sur les zoonoses et les maladies vectorielles *via* le *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire* et peut diffuser des alertes sur son site si nécessaire ;
- les Agences régionales de santé (ARS) qui peuvent également émettre des alertes au niveau régional si nécessaire, en lien avec les cellules régionales de SPF ;
- l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) propose une plateforme d'épidémiologie-surveillance en santé animale (<https://www.platforme-esa.fr/fr>). Des actualités sont également régulièrement mises en ligne sur son site ;
- le Comité de veille et d'anticipation des risques sanitaires (COVARS) placé auprès des ministères chargés de la Santé et

de l'Enseignement supérieur et de la Recherche fournit expertise et conseils aux autorités sanitaires. Ces missions recouvrent de nombreux champs, notamment par l'approche « Santé globale » (*One Health*) qui englobe les risques sanitaires liés aux agents infectieux atteignant l'homme et l'animal, aux polluants environnementaux ou alimentaires, et au changement climatique ;

- au sein des Directions départementales de la cohésion sociale et de la protection des populations (DDCSPP), les services vétérinaires veillent au bon état sanitaire des élevages ;
- enfin, l'Office français de la biodiversité (OFB) surveille et régule les maladies dans la faune sauvage sur le territoire français. Il identifie également les facteurs de risques d'apparition, de développement et de transmission de maladies infectieuses et parasitaires aux animaux domestiques et à l'homme. En collaboration avec des organismes de recherche spécialisés, il contribue notamment à une meilleure compréhension des impacts des produits phytosanitaires sur la faune sauvage en milieu agricole. Plusieurs de ces structures proposent une newsletter avec une possibilité d'abonnement en ligne. Elles peuvent être une source d'information intéressante pour les Services de prévention et de santé au travail. Les ministères s'appuient sur l'expertise des agences spécialisées afin de coordonner la diffusion de l'information *via* la messagerie « DGS urgent » pour les professionnels de santé.

par l'employeur, sur les conseils du médecin du travail (cf. *Rôle des SPST ci-dessous*).

Enfin, les personnels doivent être informés des risques à leur poste de travail et formés aux mesures de protection mises en place. Une conduite à tenir en cas d'exposition accidentelle doit être établie en concertation avec le SPST en fonction des agents biologiques susceptibles d'être en cause.

Ces mesures de prévention doivent être adaptées en fonction de l'agent biologique en cause et de son mode de transmission [100]. À titre d'illustration, un exemple est proposé dans l'**encadré 3**.

## RÔLE DES SPST

Étant donné les implications potentielles du changement climatique sur les zoonoses et les maladies vectorielles, une vigilance accrue est nécessaire pour évaluer les risques pour les travailleurs. Les SPST ont un rôle clé à jouer afin d'anticiper et de repérer les situations potentiellement à risque (cf. *Secteurs professionnels à risque* p. 31). Ils informent

et conseillent les entreprises sur les mesures de prévention à mettre en place.

Afin d'éviter toute altération de la santé des travailleurs du fait de leur travail, les SPST apportent leur aide à l'entreprise, de manière pluridisciplinaire, pour l'évaluation, la prévention et la traçabilité des risques professionnels. Dans ce cadre, ils conseillent l'entreprise sur la mise en œuvre de la démarche de prévention des risques liés aux maladies vectorielles et zoonotiques. De plus, parmi leurs nombreuses missions, ils participent aussi à la veille sanitaire ainsi qu'à des actions de promotion de la santé sur le lieu de travail dans le cadre de la Stratégie nationale de santé (article L. 4622-2 - Code du travail). Actuellement celle-ci inclut notamment le renforcement des stratégies de prévention et de lutte contre les maladies zoonotiques dans les outre-mer. Le changement climatique pouvant favoriser la propagation des zoonoses et des maladies vectorielles, il est possible qu'à l'avenir ces thématiques concernent de plus en plus de territoires [102].

Les professionnels de santé du SPST assurent le suivi individuel de l'état de santé des travailleurs. Dès qu'il existe une exposition à des agents biologiques pathogènes au poste de travail, une visite doit être réalisée avant l'affectation au poste. Les modalités du suivi sont déterminées en fonction du groupe de classement des agents biologiques pathogènes auxquels les salariés sont exposés. Ainsi, un suivi individuel renforcé (SIR) doit être mis en œuvre en cas d'exposition aux agents biologiques pathogènes des groupes 3 et 4 [103] (article R.4624-22 du Code du travail). Les visites de suivi de l'état de santé sont des moments privilégiés pour recueillir des informations sur les conditions d'exposition potentielle aux risques biologiques lors de l'activité ainsi que sur l'état de santé du travailleur.

Une attention particulière sera portée en cas d'immunodépression en rapport avec une maladie ou un traitement, ainsi qu'aux femmes enceintes ou en âge de procréer. En effet, certaines zoonoses (par exemple la fièvre Q) et maladies vectorielles comme les arboviroses (par exemple infection au virus zika) peuvent avoir des effets néfastes sur la reproduction, en particulier pour la santé maternelle ou pour le fœtus. De plus, certains vaccins et médicaments anti-infectieux sont contre-indiqués pendant la grossesse et ne pourront donc pas être administrés en cas de contamination.

Enfin, des protocoles en cas d'accident d'exposition doivent être mis en place avec l'aide du SPST, en particulier concernant les morsures, piqûres ou griffures animales.

## VACCINATION

La vaccination vient en complément des mesures de prévention des risques biologiques zoonotiques.

### ↓ Encadré 3

#### > PRÉVENTION DU RISQUE LIÉ À L'HANTAVIROSE À VIRUS PUUMALA

Plusieurs actions sont à mener simultanément dans les régions de circulation virale et dans les biotopes favorables au campagnol roussâtre (notamment forêts, clairières, lisières de forêt...).

##### Actions sur le réservoir

- dératiser aux alentours des locaux;
- stocker les aliments dans des endroits clos, inaccessibles aux rongeurs;
- empêcher l'accès des locaux aux rongeurs;
- éliminer les abris utilisables par les rongeurs.

##### Actions sur l'exposition

- éviter toute activité générant des aérosols

(utiliser de préférence un aspirateur après humidification du sol, proscrire l'utilisation du jet d'eau à haute pression...);

- porter des gants et un appareil de protection respiratoire dans des locaux inoccupés depuis longtemps, situés en forêt ou en bordure de forêt et susceptibles d'avoir abrité des rongeurs ainsi que lors des activités générant des aérosols (nettoyage de locaux, manipulation de bois...);
- éviter de manipuler les rongeurs. Si cela s'avère nécessaire, porter les équipements de protection individuelle adaptés, notamment des gants étanches et un masque FFP2;
- respecter les mesures d'hygiène.

## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel: impacts du changement climatique

Être vacciné contre un ou plusieurs agents biologiques ne dispense pas du respect des mesures de prévention mises en place. Le Code du travail n'impose aucune vaccination. Seul le Code de la santé publique rend obligatoires certaines d'entre elles, y compris dans le cadre professionnel, mais cela ne concerne pas les professionnels exposés à des zoonoses.

Après évaluation des risques poste par poste, le médecin du travail pourra conseiller à l'employeur de recommander une ou plusieurs vaccinations pour les salariés exposés. Pour cela, il se réfère notamment au calendrier vaccinal, mis à jour chaque année par le Ministère chargé de la Santé. Les vaccins en rapport avec des zoonoses (contre la rage et contre la leptospirose) font ainsi l'objet de recommandations en milieu professionnel. Par ailleurs, il existe des recommandations de vaccination contre la grippe saisonnière pour les professionnels exposés aux virus influenza porcins et aviaires [104].

Pour les maladies vectorielles, en raison de leur extension vers certaines régions du globe où elles n'étaient pas présentes auparavant, la situation devra être évaluée au cas par cas, notamment pour les travailleurs expatriés ou ceux des compagnies de transport aérien ou maritime. Le médecin du travail pourra se référer aux recommandations sanitaires aux voyageurs du Haut Conseil de la santé publique mises à jour tous les ans [105]. Elles s'appuient sur les dernières données épidémiologiques internationales, celles de la littérature internationale et sur la disponibilité, en France, des moyens de prévention en termes de vaccination, de produits de santé et de matériels de protection. Cela concerne, par exemple, l'encéphalite à tiques et la fièvre jaune.

Pour les salariés exerçant outre-mer ou se déplaçant vers ces régions dans le cadre de leur activité professionnelle, il sera nécessaire de tenir compte des spécificités en termes d'épidémiologie des zoonoses et maladies vectorielles (exemple : leptospirose, fièvre jaune, dengue, zika...). L'article R. 4426-6 du Code du travail précise que l'employeur prend en charge tous les frais inhérents aux vaccinations liées à une exposition professionnelle.

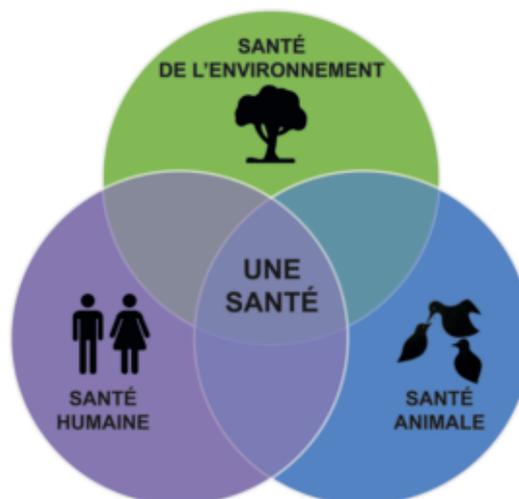
### CONCLUSION

Cet article sur l'impact du changement climatique sur les zoonoses et les maladies vectorielles souligne la nécessité de prendre en considération une multitude de facteurs souvent intriqués tels que les aspects environnementaux, sociologiques, sanitaires, épidémiologiques, concernant à la fois les humains et les animaux.

Face à cette complexité, une approche intégrée permet de prendre

en compte les différents facteurs impliqués. Initialement proposée au début des années 2000 avec l'élaboration du concept «*One Health*» (Une seule santé) (figure 7), cette approche vise, notamment, à protéger de façon conjointe les humains, les animaux et l'environnement, ce qui a l'avantage de provoquer un rapprochement entre les acteurs de la santé humaine, de la santé animale et de la protection de l'environnement. C'est l'alliance de trois entités onusiennes qui a permis en pratique, à l'orée du XXI<sup>e</sup> siècle, le démarrage d'actions coordonnées (OMS, FAO et OMSA). La santé au travail doit être également partie prenante puisqu'elle est amenée à assurer le suivi de l'état de santé des travailleurs et à promouvoir la mise en place des mesures de prévention adaptées. En outre, en collaborant avec les acteurs impliqués dans la santé environnementale, la santé publique et animale, elle peut apporter son expertise dans la prévention et le suivi de pathologies émergentes zoonotiques ou vectorielles.

Figure 7: Représentation de *One Health* (Une seule santé)



© Auteur: Jeanlou Justine

### Remerciements :

Les auteurs remercient Gilles Salvat (ANSES) et le Dr Gaëtan Deffontaines (CCMSA) pour leur relecture attentive.

### POINTS À RETENIR

- La chaîne de transmission des zoonoses et des maladies vectorielles est constituée de différents maillons.
- Il y a un risque pour les humains de développer une maladie si l'exposition correspond à la voie de transmission de l'agent biologique en cause.
- Le changement climatique désigne les variations à long terme de la température et des modèles météorologiques.
- Les conséquences du changement climatique sont multiples et multifactorielles.
- Elles ont un effet à la fois sur les agents biologiques, les vecteurs et les réservoirs.
- Les principaux vecteurs sont les moustiques, les tiques et les phlébotomes.
- Les réservoirs animaux sont principalement les rongeurs, les chauves-souris et les oiseaux.
- Les principaux secteurs professionnels à risque sont les métiers en contact avec des animaux, ceux exercés dans des milieux naturels, ceux liés à l'environnement...
- Les services de prévention et de santé au travail ont un rôle clé à jouer afin d'anticiper et de repérer les situations potentiellement à risque en matière de zoonoses et de maladies vectorielles.
- Face à la complexité du changement climatique, l'approche « Une seule santé », proposée au début des années 2000, vise notamment à protéger de façon conjointe les humains, les animaux et l'environnement.

### BIBLIOGRAPHIE

- 1 | TAYLOR LH, LATHAM SM, WOOLHOUSE ME - Risk factors for human disease emergence. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2001; 356 (1411) : 983-89.
- 2 | Frontiers 2016 Report. Emerging Issues of Environmental Concern. United Nations Environment Programme (UNEP), 2016 (<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/7664>).
- 3 | VAILLANCOURT JP, OGDEN NH - L'émergence des maladies infectieuses associées aux changements climatiques : défis ruraux et urbains. *Environ Risques Santé*. 2016; 15 (4) : 312-16.
- 4 | Dengue. Santé publique France, 2024 ([https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-transmission-vectorielle/dengue](https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/dengue)).
- 5 | CARLSON CJ, ALBERY GF, MEROW C, TRISOS CH ET AL. - Climate change increases cross-species viral transmission risk. *Nature*. 2022; 607 (7 919) : 555-62.
- 6 | ABITEBOUL D, BALTU I, BAYEUX-DUNGLAS MC, CARON V ET AL. - Les risques biologiques en milieu professionnel. 2<sup>e</sup> édition. Édition INRS ED 6034. Paris : INRS; 2019 : 44 p.
- 7 | Une seule santé. Organisation mondiale de la santé animale (OMSA), 2024 (<https://www.woah.org/fr/ce-que-nous-faisons/initiatives-mondiales/une-seule-sante>).
- 8 | VOURC'H G, MOUTOU F, MORAND S, JOURDAIN E - Les zoonoses : ces maladies qui nous lient aux animaux. Enjeux sciences. Versailles : Éditions Quæ; 2021 : 171 p.
- 9 | Maladies à transmission vectorielle. Principaux faits. Organisation mondiale de la santé (OMS), 2024 (<https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>).
- 10 | Maladies à transmission vectorielle. Autorité Européenne de Sécurité des Aliments, European Food Safety Authority (EFSA) (<https://www.efsa.europa.eu/fr/topics/topic/vector-borne-diseases>).
- 11 | RODHAIN F - Les maladies à vecteurs. Collection Que sais-je ? Paris : Presses universitaires de France (PUF); 1999 : 127 p.
- 12 | KARIU T, YUDA M, YANO K, CHINZEI Y - MAEBL is essential for malarial sporozoite infection of the mosquito salivary gland. *J Exp Med*. 2002; 195 (10) : 1317-23.
- 13 | Rapport sur l'évaluation du risque d'apparition et de développement de maladies animales compte tenu d'un éventuel réchauffement climatique. AFSSA, 2005 (<https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT-Ra-Rechauffementclimatique.pdf>).

## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel: impacts du changement climatique

### BIBLIOGRAPHIE (suite)

- 14 | En quoi consistent les changements climatiques? Nations unies, 2021 (<https://www.un.org/fr/climatechange/what-is-climate-change>).
- 15 | KEMP L, XU C, DEPLEDGE J, EBI KL ET AL. - Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2022; 119 (34): e2108146119.
- 16 | SHUKLA PR, SKEA J (Eds) - Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022 (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>).
- 17 | DIAZ S, SETTELE J, BRONDIZIO E, NGO HT ET AL. - Le rapport de l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques. Résumé à l'intention des décideurs. Bonn: Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES); 2019: 56 p.
- 18 | SCHOENEICH P, FABRE D - Le permafrost. Encyclopédie de l'environnement, 2018 (<https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/le-permafrost/>).
- 19 | Les effets du changement climatique sur les océans. Nations unies (<https://www.un.org/fr/climatechange/science/climate-issues/ocean-impacts>).
- 20 | DABIN W - Risques zoonotiques afférents aux contacts avec des phoques vivants. Observatoire Pelagis, UMS3462.La Rochelle: CNRS, Université de la Rochelle; 2015: 4 p.
- 21 | INOUE W, OLTEAN HN, McMILLAN M, SCHNITZLER H ET AL. - Notes from the Field: Tularemia Associated with Harbor Seal Necropsy. Kitsap County, Washington, October 2023. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 2024; 73 (33): 731-32
- 22 | Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. EEA Report n° 1/2017. European Environment Agency, 2016 (<https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>).
- 23 | ALLAN RP, ARIAS PA, BERGER S, CANADELL JG ET AL. - Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021 ([https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf)).
- 24 | LECOMPTE F - Un nouveau souffle pour le vent. CNRS Le Journal. CNRS, 2022 (<https://lejournal.cnrs.fr/articles/un-nouveau-souffle-pour-le-vent>).
- 25 | SIEGERT S, NEUMANN S - Wind-borne dispersion of Echinococcus multilocularis eggs. A flight model. *J Helminthol*. 2022; 96: e45.
- 26 | BOURÉE P - Hydatidosis: dynamics of transmission. *World J Surg*. 2001; 25 (1): 4-9.
- 27 | DORKO E, RIMÁROVÁ K, PILIPCINEC E - Influence of the environment and occupational exposure on the occurrence of Q fever. *Cent Eur J Public Health*. 2012; 20 (3): 208-14.
- 28 | NTAIS P, SIFAKI-PISTOLA D, CHRISTODOULOU V, MESSARITAKIS I ET AL. - Leishmaniasis in Greece. *Am J Trop Med Hyg*. 2013; 89 (5): 906-15.
- 29 | McMAHON BJ, MORAND S, GRAY JS - Ecosystem change and zoonoses in the Anthropocene. *Zoonoses Public Health*. 2018; 65 (7): 755-65.
- 30 | McINTYRE KM, SETZKORN C, HEPWORTH PJ, MORAND S ET AL. - Systematic Assessment of the Climate Sensitivity of Important Human and Domestic Animals Pathogens in Europe. *Sci Rep*. 2017; 7 (1): 7134.
- 31 | BOURHY P, SEPTFONS A, PICARDEAU M - Diagnostic, surveillance et épidémiologie de la leptospirose en France. *Bull Épidémiol Hebd*. 2017; 8-9:131-37.
- 32 | SWEENEY J, ALBANITO F, BRERETON A, CAFFARRA A ET AL. - Climate Change. Refining the Impacts for Ireland. Report from EPA-funded project 2001-CD-C3-M1. Environmental Protection Agency (EPA), 2008 (<https://www.epa.ie/publications/research/climate-change/strive-report-12-climate-change-refining-the-impacts-for-ireland.php>).
- 33 | MURPHY J, SEXTON D, JENKINS G, BOORMAN P ET AL. - UK Climate Projections Science Report: Climate change Projections. Exeter: Meteorological Office Hadley Centre; 2009: 193 p.
- 34 | ALLEN AR, SKUCE RA, BYRNE AW - Bovine Tuberculosis in Britain and Ireland - A Perfect Storm? the Confluence of Potential Ecological and Epidemiological Impediments to Controlling a Chronic Infectious Disease. *Front Vet Sci*. 2018; 5: 109.
- 35 | HELLBERG RS, CHU E - Effects of climate change on the persistence and dispersal of foodborne bacterial pathogens in the outdoor environment: A review. *Crit Rev Microbiol*. 2016; 42 (4): 548-72.
- 36 | FLYNN NM, HOEPRICH PD, KAWACHI MM, LEE KK ET AL. - An unusual outbreak of windborne coccidioidomycosis. *N Engl J Med*. 1979; 301 (7): 358-61.
- 37 | STELLA E, MARI L, GABRIELI J, BARBANTE C ET AL. - Permafrost dynamics and the risk of anthrax transmission: a modelling study. *Sci Rep*. 2020; 10 (1): 16460.
- 38 | OGDEN NH, LINDSAY LR - Effects of Climate and Climate Change on Vectors and Vector-Borne Diseases: Ticks Are Different. *Trends Parasitol*. 2016; 32 (8): 646-56.
- 39 | CAMINADE C, McINTYRE KM, JONES AE - Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. *Ann N Y Acad Sci*. 2019; 1436 (1): 157-73.
- 40 | FOUQUE F, REEDER JC - Impact of past and on-going changes on climate and weather on vector-borne diseases transmission: a look at the evidence. *Infect Dis Poverty*. 2019; 8 (1): 51.
- 41 | CORMIER E - Impact des modifications climatiques sur la répartition des arthropodes ectoparasites de carnivores domestiques en Europe: étude bibliographique et restitution de la réunion d'experts organisée par le laboratoire MSD santé animale en septembre 2020. Thèse pour obtenir le diplôme d'État de docteur vétérinaire présentée et soutenue publiquement devant la faculté de médecine de Créteil (UPEC) le 17 mai 2023. Maisons-Alfort: École nationale vétérinaire d'Alfort; Créteil: Université Paris-Est Créteil (UPEC); 2023: 230 p.
- 42 | STRESMAN GH - Beyond temperature and precipitation: ecological risk factors that modify malaria transmission.

- Acta Trop.* 2010; 116 (3): 167-72.
- 43 | BECK-JOHNSON LM, NELSON WA, PAAIJMANS KP, READ AF ET AL.** - The effect of temperature on Anopheles mosquito population dynamics and the potential for malaria transmission. *PLoS One.* 2013; 8 (11): e79276.
- 44 | MORDECAI EA, CALDWELL JM, GROSSMAN MK, LIPPI CA ET AL.** - Thermal biology of mosquito-borne disease. *Ecol Lett.* 2019; 22 (10): 1 690-708.
- 45 |** Les changements climatiques et les maladies transmises par les moustiques. Prairie Climate Centre. Atlas climatique du Canada, 2019 (<https://atlasclimatique.ca/les-changements-climatiques-et-les-maladies-transmises-par-les-moustiques>).
- 46 | NG V, REES EE, LINDSAY LR, DREBOT MA ET AL.** - Could exotic mosquito-borne diseases emerge in Canada with climate change? *Can Commun Dis Rep.* 2019; 45 (4): 98-107.
- 47 | OGDEN NH, GACHON P** - Climate change and infectious diseases: What can we expect? *Can Commun Dis Rep.* 2019; 45 (4): 76-80.
- 48 | CAMPBELL-LENDRUM D, MANGA L, BAGAYOKO M, SOMMERFELD J** - Climate change and vector-borne diseases: what are the implications for public health research and policy? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2015; 370 (1 665): 20130552.
- 49 | APPLEBAUM KM, GRAHAM J, GRAY GM, LAPUMA P ET AL.** - An Overview of Occupational Risks From Climate Change. *Curr Environ Health Rep.* 2016; 3 (1): 13-22.
- 50 | WILKE RA, FREEMAN JW** - Fracking and Climate Change-Reply. *JAMA.* 2018; 319 (14): 1 508-09.
- 51 | ESTRADA-PENA A** - Tick-borne pathogens, transmission rates and climate change. *Front Biosci (Landmark Ed).* 2009; 14 (7): 2 674-87.
- 52 | WONGNAK P, BORD S, JACQUOT M, AGOULON A ET AL.** - Meteorological and climatic variables predict the phenology of Ixodes ricinus nymph activity in France, accounting for habitat heterogeneity. *Sci Rep.* 2022; 12 (1): 7 833.
- 53 | HERRMANN C, GERN L** - Survival of Ixodes ricinus (Acari: Ixodidae) nymphs under cold conditions is negatively influenced by frequent temperature variations. *Ticks Tick Borne Dis.* 2013; 4 (5): 445-51.
- 54 |** Éléments d'information et de prévention sur la fièvre hémorragique de Crimée-Congo. Santé publique France, 2024 (<https://www.santepubliquefrance.fr/docs/elements-d-information-et-de-prevention-sur-la-fievre-hemorragique-de-crimee-congo>).
- 55 |** Première détection du virus de la Fièvre Hémorragique de Crimée-Congo dans le Sud de la France. Résultats et impact. Cirad, 2023 (<https://www.cirad.fr/espace-presse/communiqués-de-presse/2023/fievre-hemorragique-de-crimee-congo-tique-hyalomma-marginatum>).
- 56 | KIWAN P, MASSE S, PIORKOWSKI G, AYHAN ET AL.** - Crimean-Congo Hemorrhagic Fever Virus in Ticks Collected from Cattle, Corsica, France, 2023. *Emerg Infect Dis.* 2024; 30 (5): 1036-39.
- 57 | BERNARD C, JOLY KUKLA C, RAKOTOARIVONY I, DUHAYON M ET AL.** - Detection of Crimean–Congo haemorrhagic fever virus in Hyalomma marginatum ticks, southern France, May 2022 and April 2023. *Euro Surveill.* 2024; 29 (6): 2400023.
- 58 | ESTRADA-PÉÑA A** - Increasing habitat suitability in the United States for the tick that transmits Lyme disease: a remote sensing approach. *Environ Health Perspect.* 2002; 110 (7): 635-40.
- 59 | SEMENZA JC, SUK JE** - Vector-borne diseases and climate change: a European perspective. *FEMS Microbiol Lett.* 2018; 365 (2): fnx244.
- 60 | TRÁJER AJ** - The potential impact of climate change on the seasonality of Phlebotomus neglectus, the vector of visceral leishmaniasis in the East Mediterranean region. *Int J Environ Health Res.* 2021; 31 (8): 932–50.
- 61 | BOURDOISEAU G, CHERMETTE R** - La leishmaniose canine à Leishmania infantum: données actuelles sur une zoonose négligée. *Rev Fr Lab.* 2015; 477: 25-34.
- 62 | READY PD** - Leishmaniasis emergence in Europe. *Euro Surveill.* 2010; 15 (10): 19 505.
- 63 | OSTFELD RS, KEESING F** - Biodiversity and Disease Risk: the Case of Lyme Disease. *Conserv Biol.* 2000; 14 (3): 722-28.
- 64 | OSTFELD RS, KEESING F** - Effects of Host Diversity on Infectious Disease. *Ann Rev Ecol Evol Syst.* 2012; 43: 157-82.
- 65 | LINSKE MA, WILLIAMS SC, STAFFORD KC 3<sup>RD</sup>, ORTEGA IM** - Ixodes scapularis (Acari: Ixodidae) Reservoir Host Diversity and Abundance Impacts on Dilution of Borrelia burgdorferi (Spirochaetales: Spirochaetaceae) in Residential and Woodland Habitats in Connecticut, United States. *J Med Entomol.* 2018; 55 (3): 681-90.
- 66 | TOUGERON K** - Santé. La biodiversité sur ordonnance? Dire. Fonds d'investissement des cycles supérieurs de l'Université de Montréal (FICSUM), 2016 (<https://www.ficsum.com/dire-archives/hiver-2016/la-biodiversite-sur-ordonnance/>).
- 67 | MAVROULI M, MAVROULIS S, LEKKAS E, TSAKRIS A** - Infectious Diseases Associated with Hydrometeorological Hazards in Europe: Disaster Risk Reduction in the Context of the Climate Crisis and the Ongoing COVID-19 Pandemic. *Int J Environ Res Public Health.* 2022; 19 (16): 10 206.
- 68 | ZEIMES CB, QUOILIN S, HENTTONEN H, LYYTIKÄINEN O ET AL.** - Landscape and regional environmental analysis of the spatial distribution of hantavirus human cases in Europe. *Front Public Health.* 2015; 3: 54.
- 69 | SIPARI S, KHALIL H, MAGNUSSON M, EVANDER M ET AL.** - Climate change accelerates winter transmission of a zoonotic pathogen. *Ambio.* 2022; 51 (3): 508-17.
- 70 | KLEMPA B** - Hantaviruses and climate change. *Clin Microbiol Infect.* 2009; 15 (6): 518-23.
- 71 | DESAI S, VAN TREECK U, LIERZ M, ESPELAGE W ET AL.** - Resurgence of field fever in a temperate country: an epidemic of leptospirosis among seasonal strawberry harvesters in Germany in 2007. *Clin Infect Dis.* 2009; 48 (6): 691-97.
- 72 | SOCOLOVSKI C, ANGELAKIS E, RENVOISÉ A, FOURNIER PE ET AL.** - Strikes, flooding, rats, and leptospirosis

## Maladies zoonotiques et vectorielles en milieu professionnel: impacts du changement climatique

### BIBLIOGRAPHIE (suite)

- in Marseille, France. *Int J Infect Dis*. 2011; 15 (10): e710-15.
- 73 | MORATELLI R, CALISHER CH** - Bats and zoonotic viruses: can we confidently link bats with emerging deadly viruses? *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2015; 110 (1): 1-22.
- 74 | LETKO M, SEIFERT SN, OLIVAL KJ, PLOWRIGHT RK ET AL.** - Bat-borne virus diversity, spillover and emergence. *Nat Rev Microbiol*. 2020; 18 (8): 461-71.
- 75 | SHARMA A, AHMAD FAROUK I, LAL SK** - COVID-19: A Review on the Novel Coronavirus Disease Evolution, Transmission, Detection, Control and Prevention. *Viruses*. 2021; 13 (2): 202.
- 76 | FEDERICI L, MASULLI M, DE LAURENZI V, ALLOCATI N** - An overview of bats microbiota and its implication in transmissible diseases. *Front Microbiol*. 2022; 13: 1012189.
- 77 |** Rage. Santé publique France, 2023 (<https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-prevention-vaccinale/rage>).
- 78 | GARG KM, CHATTOPADHYAY B** - Gene Flow in Volant Vertebrates: Species Biology, Ecology and Climate Change. *J Indian Inst Sci*. 2021; 101 (2): 165-76.
- 79 | LEVISON ME** - Diseases Transmitted by Birds. *Microbiol Spectr*. 2015; 3 (4): 1-16.
- 80 | OLSEN B, MUNSTER VJ, WALLENSTEN A, WALDENSTRÖM J ET AL.** - Global patterns of influenza a virus in wild birds. *Science*. 2006; 312 (5772): 384-88.
- 81 | BROWN JD, STALLKNECHT DE** - Wild bird surveillance for the avian influenza virus. *Methods Mol Biol*. 2008; 436: 85-97.
- 82 | YEE KS, CARPENTER TE, CARDONA CJ** - Epidemiology of H5N1 avian influenza. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*. 2009; 32 (4): 325-40.
- 83 | SEHGAL RNM** - Deforestation and avian infectious diseases. *J Exp Biol*. 2010; 213 (6): 955-60.
- 84 |** Gilbert M, Slingenbergh J, Xiao X - Climate change and avian influenza. *Rev Sci Tech*. 2008; 27 (2): 459-66.
- 85 | KILPATRICK AM, CHMURA AA, GIBBONS DW, FLEISCHER RC ET AL.** - Predicting the global spread of H5N1 avian influenza. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2006; 103 (51): 19 368-73.
- 86 | STALLKNECHT DE, BROWN JD** - Tenacity of avian influenza viruses. *Rev Sci Tech*. 2009; 28 (1): 59-67.
- 87 | VAN DEN BERG T** - The role of the legal and illegal trade of live birds and avian products in the spread of avian influenza. *Rev Sci Tech*. 2009; 28 (1): 93-111.
- 88 | WEBSTER RG, GOVORKOVA EA** - H5N1 influenza. Continuing evolution and spread. *N Engl J Med*. 2006; 355 (21): 2174-77.
- 89 | CAREY C** - The impacts of climate change on the annual cycles of birds. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2009; 364 (1 534): 3 321-30.
- 90 | HITCH AT, LEBERG PL** - Breeding distributions of north American bird species moving north as a result of climate change. *Conserv Biol*. 2007; 21 (2): 534-39.
- 91 | LA SORTE FA, THOMPSON FR 3<sup>rd</sup>** - Poleward shifts in winter ranges of North American birds. *Ecology*. 2007; 88 (7): 1803-12.
- 92 | LOUCHART A** - Emergence of long distance bird migrations: a new model integrating global climate changes. *Naturwissenschaften*. 2008; 95 (12): 1 109-19.
- 93 | PARMESAN C, YOHE G** - A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 2003; 421 (6 918): 37-42.
- 94 | TIAN H, ZHOU S, DONG L, VAN BOECKEL TP ET AL.** - Avian influenza H5N1 viral and bird migration networks in Asia. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2015; 112 (1): 172-77.
- 95 | GASS JD JR, KELLOGG HK, HILL NJ, PURYEAR WB ET AL.** - Epidemiology and Ecology of Influenza A Viruses among Wildlife in the Arctic. *Viruses*. 2022; 14 (7): 1531.
- 96 | RAVICHANDRAN K, ANBAZHAGAN S, KARTHIK K, ANGAPPAN M ET AL.** - A comprehensive review on avian chlamydiosis: a neglected zoonotic disease. *Trop Anim Health Prod*. 2021; 53 (4): 414.
- 97 |** Ornithose-*psittacose* Chlamydia *psittaci* (souches aviaires). In: Eficatt. INRS, 2023 (<https://www.inrs.fr/eficatt>).
- 98 | RUPASINGHE R, CHOMEL BB, MARTÍNEZ-LÓPEZ B** - Climate change and zoonoses: A review of the current status, knowledge gaps, and future trends. *Acta Trop*. 2022; 226: 106225.
- 99 |** Évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs. Avis de l'ANSES. Rapport d'expertise collective. Maisons-Alfort: ANSES; 2018: 262 p.
- 100 |** Zoonoses. INRS, 2023 (<https://www.inrs.fr/risques/zoonoses/ce-qu-il-faut-retenir.html>).
- 101 |** Surveillance des zoonoses et des agents zoonotiques. Directive 2003/99/CE sur la surveillance des zoonoses et des agents zoonotiques. In: EUR-Lex. Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2018 (<https://eur-lex.europa.eu/FR/legal-content/summary/monitoring-of-zoonoses-and-zoonotic-agents.html>).
- 102 |** La stratégie nationale de santé 2018-2022. Ministère chargé de la Santé, 2017 (<https://sante.gouv.fr/systeme-de-sante/strategie-nationale-de-sante/article/la-strategie-nationale-de-sante-2018-2022>).
- 103 |** Arrêté du 16 novembre 2021 fixant la liste des agents biologiques pathogènes. Texte officiel TO 30. *Réf Santé Trav*. 2022; 169: 7-18.
- 104 |** Le calendrier des vaccinations. Ministère chargé de la Santé, 2024 (<https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/preserver-sa-sante/vaccination/calendrier-vaccinal>).
- 105 |** Recommandations sanitaires pour les voyageurs. A destination des professionnels de santé. Ministère chargé de la Santé, 2024 (<https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/sante-des-populations/article/recommandations-sanitaires-pour-les-voyageurs>).