

Érosion de la biodiversité et santé : rôle des rongeurs dans l'émergence et la réémergence de maladies infectieuses (virales, bactériennes et parasitaires)

Clotilde Huguet

▶ **To cite this version:**

Clotilde Huguet. Érosion de la biodiversité et santé : rôle des rongeurs dans l'émergence et la réémergence de maladies infectieuses (virales, bactériennes et parasitaires). Sciences pharmaceutiques. 2014. dumas-01109560

HAL Id: dumas-01109560

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01109560

Submitted on 26 Jan 2015

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

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

UNIVERSITÉ de BORDEAUX

U.F.R DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES

Année 2014 Thèse n° 113

Thèse pour l'obtention du

Diplôme d'État de Docteur en Pharmacie

Présentée et soutenue publiquement

Par **HUGUET Clotilde**

Née le 20 août 1990 à LA ROCHE SUR YON

Le 3 novembre 2014 à BORDEAUX

Érosion de la biodiversité et santé :
Rôle des rongeurs dans l'émergence et la réémergence de maladies infectieuses (virales, bactériennes et parasitaires)

Directeur de thèse :

M. Gilbert HAUMONT

Jury :

Monsieur Gilbert HAUMONT	Maître de conférences	Président
Madame Françoise TESSIER	Maître de conférences	Juge
Monsieur Gaëtan BOURDON	Ecologue	Juge
Madame Bernadette BICHET	Pharmacien	Juge

Serment de Galien

Je jure, en présence des maîtres de la faculté, des conseillers de l'ordre des Pharmaciens et de mes condisciples :

D'honorer ceux qui m'ont instruite dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement ;

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Remerciements

A mon président et directeur de thèse,

Monsieur Haumont, *Maître de conférences à l'Université de Bordeaux*,

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de présider et de diriger cette thèse qui m'a donné l'occasion de m'intéresser à un sujet passionnant. Merci pour votre soutien, votre disponibilité et vos encouragements tout au long de ce travail. Soyez assuré de ma sincère reconnaissance.

A mes juges,

Madame Tessier, *Maître de conférences à l'Université de Bordeaux,*

Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de juger cette thèse ainsi que pour l'intérêt et le temps que vous avez bien voulu consacrer à mon travail.

Monsieur Bourdon, *Ecologue*,

Je vous suis reconnaissante d'avoir accepté de juger cette thèse et d'apporter votre point de vue professionnel à mon travail.

Madame Bichet, *Pharmacien*,

Je vous remercie d'avoir si gentiment accepté de juger cette thèse ainsi que pour l'intérêt et le temps que vous avez bien voulu y consacrer.

À mes proches,

Mes parents,

Je vous remercie pour votre soutien, vos encouragements et votre patience pendant ces longues années d'études. Merci aussi pour le temps consacré à la relecture de ma thèse.

Mon frère, Cyril,

Merci pour ta patience et tes attentions, pas toujours facile de supporter sa grande sœur !!

Alexis,

Merci pour le temps consacré à lire et corriger ma thèse, ta patience et tes encouragements durant cette année.

A mes amies,

Nathalie, merci pour tes précieux conseils et pour ta gentillesse au cours de mon stage.

Marine, Emilie, Maëva et Aurélie, merci pour ces moments que nous avons partagés, soirées, sorties, fous rires mais aussi stress et séances de révisions…En espérant vous revoir toutes malgré la distance qui nous sépare.

Table des matières

Liste des figures 8

Liste des tableaux 9

Introduction 10

Partie I: Biodiversité et santé 12

A. La biodiversité et ses services 13

1. La biodiversité : un concept complexe mais essentiel 13
2. Les services rendus par la biodiversité des écosystèmes à l'homme 14
   - L'eau potable 15
   - La nourriture 15
   - Les sources d'énergie 16
   - Produits biologiques 16
   - Nutriments et gestion des déchets 16
   - Services culturels, spirituels et récréatifs 17
   - Régulations des maladies infectieuses 17
   - La régulation du climat 18

B. Les atteintes à la biodiversité 21

1. Quelles sont les causes d'érosion de la biodiversité ? 22
2. Le changement climatique 24
   - Les changements observés dans le système climatique 24
   - Les facteurs de changement climatique 26
   - Changements climatiques mondiaux et régionaux à venir 28
   - En Europe 29
3. Adaptation des écosystèmes aux contraintes anthropiques et climatiques 31

C. Biodiversité et santé 35

1. Bienfaits de la biodiversité pour la santé 35
   - Effet de dilution : 35
   - Apports psychologiques de la biodiversité : 36
2. Conséquences négatives du changement global sur la santé 37
   - Evènements climatiques extrêmes 37

- Emergence et réémergence de maladies infectieuses 38

Partie II: Rôle des rongeurs dans l'émergence de maladies infectieuses 43

A. Les rongeurs en France 44

1. Aperçu de la population de rongeurs en France 44
2. Dynamique des populations : espèces invasives et menacées d'extinction 46
   - Les espèces invasives 46
   - Les espèces invasives à nos frontières 49
   - Une espèce menacée d'extinction 50
3. Les types d'habitats des rongeurs et les risques pour l'homme 50
   - Foyers sauvages 50
   - Foyers synanthropiques 51
   - Les rongeurs animaux de compagnie 51

B. Les maladies et risques sanitaires liés aux rongeurs 54

1. Les différentes voies de contamination 54
2. Une zoonose fungique : la dermatophytose 55
3. Les zoonoses parasitaires 55
   - Les parasites externes 55
   - Les parasites internes 56
4. Les anthropozoonoses bactériennes 58
   - La peste 58
   - La maladie de Lyme ou borréliose de Lyme 61
   - La leptospirose 63
   - Les salmonelloses 65
   - La pseudo-tuberculose 66
   - Les infections bactériennes transmises par morsures 66
   - Les infections à rickettsie 68
5. Les roboviroses 70
   - La chorioméningite lymphocytaire 71
   - Les hantaviroses : la fièvre hémorragique avec syndrome rénal 72
   - Le virus Cowpox 73

C. Mesures de prévention des maladies transmises par les rongeurs 74

1. Mesures de prévention collectives 74

- Lutte préventive 74
- Méthodes curatives 75

2. Mesures de prévention individuelles 77
   - Prévention des zoonoses des rongeurs de compagnie 77
   - Prévention des zoonoses professionnelles et de loisir 79

Conclusion 80

Bibliographie: 83

Liste des figures

Figure 1 : Le cycle du carbone(5) 18

Figure 2 : Relations entre la biodiversité, les écosystèmes, le bien-être des êtres humains et le changement global(7) 20

Figure 3 : Différents indicateurs de l'évolution du climat(14) 25

Figure 4 : Evolution de la concentration de CO_2 atmosphérique(14) 26

Figure 5 : Schéma de l'effet de serre(15) 27

Figure 6 : Nombre d'espèces apparaissant sur la Liste rouge de l'UICN publiée depuis 2000(20) 31

Figure 7 : Déplacement de la zone de répartition d'une espèce en fonction de la vitesse des changements climatiques et environnementaux(16) 32

Figure 8 : Schématisation de la relation entre température et mortalité(33) 38

Figure 9 : Classification des rongeurs présents en France 45

Figure 10 : Souris domestique 46

Figure 11 : Rat noir 47

Figure 12 : Rat surmulot 47

Figure 13 : Ragondin 48

Figure 14 : Ecureuil de Sbérie 49

Figure 15 : Grand Hamster 50

Figure 16 : Cycle de développement des tiques et de la transmission de la maladie de Lyme(69) 61

Figure 17 : Retrait d'une tique avec un tire-tique(70) 63

Figure 18 : Transmission de la leptospirose(61) 64

Figure 19 : Histoire naturelle de la fièvre Q(76) 70

Liste des tableaux

Tableau I : Réémergence récente de la peste dans des foyers que l'on croyait définitivement éteints(67) 60

Tableau II : Quelques épidémies de fièvre Q documentées en Europe durant ces 30 dernières années(76) 69

Tableau III : Arenavirus pathogènes pour l'homme(77) 71

Tableau IV : Hantavirus présents en Europe(78) 72

Tableau V : Efficacité relative et concentration recommandées pour donner une DL50 de plusieurs rodenticides anticoagulants au Rat surmulot (Rattus norvegicus)(79) 76

Tableau VI : Caractéristiques des rodenticides aigus(79) 77

Tableau VII : Traitement et prévention des pathologies des rongeurs de compagnie(80) 78

Introduction

La biodiversité est un concept récent qui se définit comme la diversité à tous les niveaux d'organisation du vivant – gènes, populations, espèces et écosystèmes – ainsi que les interactions au sein et entre ces niveaux d'organisation, y compris avec l'homme. Cette diversité est à la fois la conséquence et le moteur de l'évolution du vivant ; elle est fonctionnelle, régulant les grandes fonctions écologiques, comme le cycle du carbone.

Aujourd'hui, cette diversité biologique qui nous apporte entre autre nourriture, santé et sources d'énergie est menacée par le changement climatique et les actions de l'homme sur son environnement. Des dérèglements sont observés dans la répartition des espèces animales et végétales des différents écosystèmes (migration d'espèces, invasions, extinctions) entrainant, à terme, des conséquences importantes pour la santé humaine.

Ainsi, nous observons l'émergence ou la réémergence de façon exponentielle de maladies infectieuses, en particulier des maladies transmises par les animaux (zoonoses). En effet, les trois quarts des maladies infectieuses émergentes ont une origine zoonotique. On peut, par exemple, citer la maladie due au virus Ebola qui sévit actuellement en Afrique de l'Ouest, ou la maladie de Lyme qui se développe en Europe et en Amérique du Nord, et dont la prévalence (nombre de cas d'une maladie) a augmenté fortement ces dernières années. Ces maladies ont en général un réservoir animal dans lequel les pathogènes se transmettent d'individu à individu, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un vecteur (souvent un arthropode), avant d'atteindre l'homme par des voies de contamination spécifiques à l'infection concernée. Sous l'effet du changement global, les populations de réservoirs et de vecteurs évoluent, leur nombre et leur répartition géographique sont modifiés. Ces changements ont des conséquences sur le cycle de transmission des zoonoses entraînant des modifications dans les zones de répartition géographiques du pathogène, qui peut atteindre de nouveaux hôtes et voir son incidence (nombre de nouveaux cas) augmenter.

Dans ce travail, nous avons choisi d'illustrer ce phénomène en travaillant sur les zoonoses transmises par les rongeurs. Ces maladies préoccupent les scientifiques du projet européen Emerging Diseases in a changing European Environment (EDEN) qui étudient l'émergence des maladies infectieuses(1).

Les rongeurs sont des animaux sensibles aux conditions environnementales de leur milieu : une modification de ces conditions peut entraîner la pullulation d'une espèce. Par exemple, on a observé des pullulations de rongeurs champêtres suite à des changements dans l'utilisation des terres agricoles. D'autre part, certaines espèces de rongeurs vivent à proximité de l'homme, voire dans les habitats humains en tant que nuisibles, mais aussi, depuis quelques années, en tant qu'animaux de compagnie. Cette proximité avec l'homme et l'urbanisation croissante de la planète inquiètent car ces espèces sont porteuses de maladies transmissibles à l'homme dont l'incidence peut augmenter significativement en fonction de l'évolution des conditions de vie de ces animaux et de l'homme.

Ainsi, dans un premier temps, seront évoqués les apports de la biodiversité à nos sociétés et les atteintes qu'elle subit, en particulier à cause du réchauffement climatique et des actions de l'homme, puis les conséquences sur la santé. Dans la deuxième partie, nous étudierons l'évolution des populations de rongeurs en France et décrirons les maladies qu'ils peuvent transmettre à l'homme ainsi que leur potentiel d'émergence dans le contexte actuel. Pour conclure ce travail, nous discuterons avec une approche plus globale du problème des maladies émergentes dans un environnement soumis aux contraintes d'un changement global inédit dont nous ne mesurons pas encore toutes les conséquences sur la santé.

Partie I: Biodiversité et santé

La biodiversité regroupe à la fois la diversité biologique aux différents niveaux d'organisation du vivant, mais aussi l'évolution de cette diversité, en équilibre dynamique. Elle nous rend de nombreux services que ce soit en termes d'apport et de production de nourriture, d'énergie, ou encore de gestion des déchets. Elle participe également à la régulation des phénomènes climatiques et de la propagation des maladies infectieuses.

Actuellement, la perte en biodiversité, sous l'effet des actions anthropiques, affecte l'ensemble du globe. L'augmentation des perturbations environnementales comme la modification des habitats, l'intensification de l'élevage et des cultures, la mondialisation des échanges ou l'utilisation de polluants perturbent les écosystèmes, modifiant leur structure et leur fonctionnement. On observe ainsi des extinctions et des migrations d'espèces de manière plus fréquente. De plus, ces perturbations ont des conséquences sur la santé humaine, entraînant la perte des bienfaits de la biodiversité pour la santé avec, entre autre, l'émergence de maladies infectieuses, souvent d'origine zoonotique, pouvant entraîner de véritables épidémies.

A. La biodiversité et ses services

La biodiversité est un concept complexe, en perpétuelle évolution, mais essentiel à la compréhension des écosystèmes qui nous entourent et aux changements qui les impactent. La biodiversité des écosystèmes est indispensable à notre santé et à notre vie. Ses apports se déclinent en services de support qui nous permettent, par exemple, de produire de la nourriture ou de l'énergie, et en services de régulation du climat et de la propagation des maladies infectieuses.

1. La biodiversité : un concept complexe mais essentiel

La biodiversité est le fruit et le reflet de la diversité génétique propre à tout être vivant, jusqu'à celle des écosystèmes et des paysages, en passant par la variété des organismes et des espèces auxquelles on les rattache.

L'écologue Robert Barbault parle de la biodiversité comme du « tissu vivant de notre planète »(2) dont l'Homme fait partie intégrante. Cette comparaison permet de mieux voir que non seulement les constituants de ce tissu sont importants, mais aussi que les interactions entre ces éléments le sont d'autant plus pour le maintenir en l'état.

Vue sous cet angle écologique, la biodiversité est un réseau de réseaux – un entrelacs de chaînes alimentaires où s'articulent des liens mangeurs-mangés, où se tissent des relations de compétition ou de coopération – et tout cela fonctionne, produit et recycle de la matière vivante, transforme l'environnement… On peut parler d'écosystème planétaire, voire, d'entreprise planétaire.

Plus la biodiversité d'un écosystème est riche, plus il abrite d'espèces différentes et les relations qu'elles développent sont subtiles. Cette richesse rend l'écosystème plus viable et résistant. On parle également de la résilience des écosystèmes, il s'agit de leur capacité à restaurer ou conserver leur état d'équilibre dynamique (organisation et fonctionnement) après une phase d'instabilité due à une perturbation extérieure ou interne. Ainsi, la biodiversité est le gage de survie des écosystèmes.

Si on se place dans une perspective anthropocentrée – c'est-à-dire, centrée autour de l'être humain – tous les écosystèmes nous concernent. La multitude de leurs espèces renvoie à une diversité de processus ou fonctions écologiques (échanges gazeux de la végétation avec l'atmosphère, piégeage de particules, dégradation de molécules toxiques, production de matière vivante, pollinisation des fleurs…) qui se traduisent par une pluralité de services dont nous profitons: épuration et maintien de la qualité de l'eau, fertilisation des sols, régulation des climats, purification de l'air, contrôle des ravageurs potentiels, etc…

2. Les services rendus par la biodiversité des écosystèmes à l'homme

Un écosystème est un ensemble vivant formé par un groupement de différentes espèces en interrelations (nutrition, reproduction, prédation…), entre elles et avec leur environnement (minéraux, air, eau), sur une échelle spatiale donnée. L'écosystème regroupe des conditions particulières (physico-chimique, température, pH, humidité…) et permet le maintien de la vie. Et réciproquement, cette vie constitue et maintient l'écosystème.

En 1953, Howard T. Odum, docteur en zoologie et spécialiste mondial en écologie, en donne la définition suivante : « L'écosystème constitue la plus grande unité fonctionnelle en écologie, puisqu'il inclut à la fois les organismes vivants et l'environnement abiotique (le climat, la qualité des sols par exemple), chacun influençant les propriétés de l'autre, et les deux sont nécessaires au maintien de la vie telle qu'elle existe sur Terre. »(3)

Les écosystèmes sont donc des systèmes vitaux de soutien de la planète pour l'espèce humaine et toutes les autres formes de vie. La biologie humaine entraîne des besoins fondamentaux en nourriture, eau, air sain, abris et un climat relativement constant. Des contraintes sur les sources d''eau douce, les systèmes producteurs de denrées alimentaires et la régulation du climat pourraient avoir des conséquences défavorables sur la santé. Le Millenium Assessment a identifié les services-clés rendus par les écosystèmes et leurs liens avec l'homme et la santé(4). Dans son rapport il distingue deux types de services rendus par les écosystèmes : les services de support (apport en eau, nourriture, énergie…) et les services de régulations notamment au niveau climatique mais aussi concernant les maladies infectieuses.

Les services de support incluent :

- les apports en eau
- la production de nourriture
- les sources d'énergie
- les produits biologiques
- les nutriments et la gestion des déchets
- les services culturels, spirituels et récréatifs

Les services de régulation comprennent :

- la régulation du climat
- la régulation des maladies infectieuses

- *L'eau potable*

L'eau douce est essentielle pour la santé humaine. Elle est utilisée pour la production de nourriture, de boisson, l'hygiène personnelle, le lavage, la cuisine et la dilution et le recyclage des déchets. Une pénurie d'eau compromet la production alimentaire, la santé humaine, le développement économique et, à terme, la stabilité géopolitique. La demande en eau potable ne cesse d'augmenter avec la croissance de la population mondiale et le développement économique. Cela entraine un stress hydrique dans certaines parties du monde où la population n'a pas accès à des installations sanitaires salubres, entraînant un risque important de maladies liées à l'eau (choléra, parasitoses…).

De nombreux aspects du cycle de l'eau sont régulés par les fonctions naturelles des écosystèmes et processus géophysiques associés, tels que l'évaporation et le fonctionnement du climat, par exemple. Cependant les interventions humaines comme la mise en place de système d'irrigation, la création de barrages ou la déforestation pour répondre à la demande croissante en eau modifient la gestion du cycle de l'eau par les écosystèmes et leur organisation propre.

- *La nourriture*

Les écosystèmes terrestres et marins, qu'ils soient sauvages ou gérés par l'homme, sont la source de notre nourriture et représentent une condition préalable à la santé et à la vie. La production alimentaire mondiale est actuellement suffisante pour répondre aux besoins de tous. Cependant, sur les 7,2 milliards d'individus que compte la population mondiale, plus de 800 millions de personnes -– dont la majorité habite des pays à faibles revenus – sont en situation de dénutrition.

Dans les pays pauvres et en particulier dans les zones rurales, la santé des communautés humaines dépend souvent directement des écosystèmes locaux qui fournissent les ressources nutritionnelles de base. La production alimentaire locale est essentielle pour prévenir la faim et promouvoir le développement dans ces zones rurales. Dans les communautés urbaines plus riches, la dépendance envers les écosystèmes pour la nourriture est moins apparente mais non moins fondamentale.

D'autre part, à l'inverse des pays pauvres, dans les pays développés, les risques liés à l'alimentation concernent principalement la suralimentation, souvent en combinaison avec l'inactivité physique et représentent entre un dixième et un tiers de la charge de morbidité.

Ainsi on voit que quel que soit la situation, l'homme est dépendant des écosystèmes qui l'entourent pour sa nourriture et sa santé. On peut donc anticiper qu'à l'avenir, des changements défavorables dans les écosystèmes producteurs d'aliments sont susceptibles d'avoir des conséquences importantes sur les sources de nourritures, mais aussi dans les disparités nutritionnelles.

- *Les sources d'énergie*

De nombreux processus et ressources de la nature fournissent de l'énergie qui peut être exploitée par les communautés humaines, en particulier le vent, l'eau et la combustion de la biomasse. En fonction de la région géographique et du niveau de développement des pays, diverses méthodes de production d'énergie sont utilisées. L'accès à l'énergie, notamment l'électricité, a de nombreux impacts bénéfiques sur la santé et la qualité des soins.

Cependant, plus de la moitié de la population mondiale continue de s'appuyer sur des combustibles solides pour la cuisine et le chauffage. Ces carburants - y compris le bois, le chaume et les excréments d'animaux - sont des produits directs des écosystèmes. Toutefois, leur combustion a aussi des conséquences sur la santé humaine, entrainant la pollution de l'air intérieur ou extérieur, responsable de maladies respiratoires ou d'allergies.

- *Produits biologiques*

Des millions de personnes dans le monde dépendent partiellement ou entièrement des produits naturels recueillis dans les écosystèmes à des fins médicinales. Bien que les médicaments synthétiques (dont plus de la moitié provient de précurseurs naturels) soient disponibles, le besoin et la demande mondiale en produits naturels persiste. Parmi les produits pharmaceutiques provenant de ressources naturelles les plus connus, on trouve la digitaline et la quinine. D'autre part, dans nos sociétés occidentales, la demande en compléments alimentaires, à base de plante ou d'origine naturelle a fortement augmentée. Par exemple les statines, médicaments permettant de diminuer le taux de cholestérol, sont souvent remplacées par de la levure de riz rouge qui a une action similaire. Cette demande en produit naturels ne peut être satisfaite sans des écosystèmes viables et riches en biodiversité.

- *Nutriments et gestion des déchets*

Les écosystèmes jouent un rôle essentiel dans le recyclage et la redistribution des nutriments. Ce service est indispensable à la santé des espèces végétales et animales. Les perturbations du cycle des éléments nutritifs peuvent nuire à la fertilité des sols, ce qui réduit les rendements des cultures. Ceci altère l'état nutritionnel des individus qui en dépendent pouvant entraîner des carences alimentaires (à la fois des micros et des macronutriments) et nuire au développement physique et mental des enfants.

Les humains peuvent être exposés à des polluants chimiques inorganiques et organiques persistants dans les aliments et l'eau potable. De telles expositions peuvent se produire lorsqu'en modifiant les accès à l'eau potable, on entraîne la contamination de sources naturelles d'eau (comme cela s'est produit récemment avec la contamination de l'eau par l'arsenic de puits tubulaires au Bangladesh), et lorsque les activités humaines libèrent des substances chimiques toxiques dans l'environnement (par exemple, par utilisation de pesticides). Les produits chimiques toxiques dans l'eau et la nourriture peuvent avoir des effets néfastes sur les différents systèmes de l'organisme. Par exemple une exposition à de faibles concentrations de certains produits chimiques (comme le PCB, les dioxines et le DDT) peut causer des troubles endocriniens, et interférer avec les fonctions de l'organisme hormono-dépendantes notamment la reproduction.

- *Services culturels, spirituels et récréatifs*

Les communautés humaines tirent aussi beaucoup d'avantages non-matériels des écosystèmes. Ils fournissent des sites et opportunités pour le tourisme, les loisirs, l'appréciation esthétique ou l'éducation.

Ces services peuvent améliorer le bien-être général des individus, renforcer un sentiment d'appartenance à une culture ou à un lieu, mais aussi enrichir les connaissances en sciences naturelles et sociales (la botanique, la biologie, l'histoire ou l'archéologie…). Les avantages pour la santé de ces services peuvent être sensiblement moins tangibles que ceux évalués par les indicateurs de santé conventionnels ou les standards d'évaluation économique. Néanmoins, ces services sont très appréciés par les individus dans toutes les sociétés.

Diverses pratiques traditionnelles liées aux services écosystémiques, y compris les cycles saisonniers de remerciements et de célébration, jouent un rôle important dans le développement du capital social et l'amélioration du bien-être général.

- *Régulations des maladies infectieuses*

Les maladies infectieuses sont provoquées par des virus, des bactéries et d'autres types de microbes ou de parasites. Les agents infectieux qui provoquent des maladies chez les plantes, les animaux et les humains sont le plus souvent limités géographiquement et saisonnièrement par les écosystèmes et les relations écologiques dans la nature.

Les scénarios de l'entrée en contact des microbes avec l'espèce humaine (parfois comme nouveaux mutants) sont sensibles aux conditions climatiques et micro-environnementales. Ces facteurs peuvent avoir un impact sur la propagation des microbes entre humains, leur diffusion vers de nouveaux territoires, et l'activité des hôtes et des vecteurs impliqués dans leur transmission.

Souvent, les changements dans les écosystèmes et dans les conditions physiques des environnements induits par l'homme modifient leurs influences naturelles sur la portée et l'activité de l'agent infectieux. Le modèle et l'ampleur des changements dans l'incidence d'une maladie infectieuse particulière dépendent principalement de l'écosystème touché, du type de changement, de la dynamique de transmission spécifique à la maladie, des changements socioculturels ou de la susceptibilité des populations humaines…

On observe une remontée du taux d'émergence ou de réémergence des maladies infectieuses. Les facteurs qui contribuent substantiellement à cette tendance comprennent :

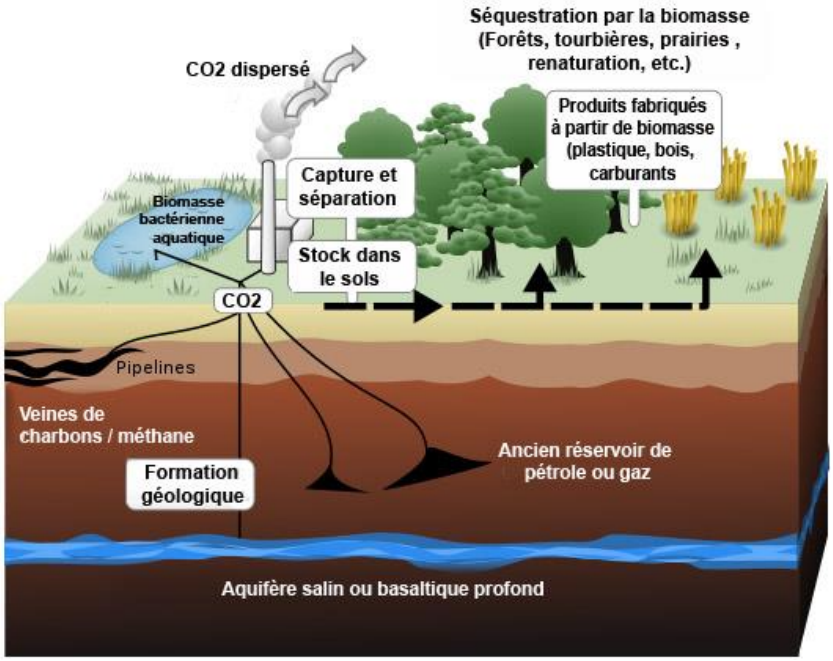
- l'empiètement humain intensifié sur les ressources naturelles environnementales, altérant l'habitat des vecteurs ou des hôtes réservoir
- les réductions de la biodiversité (y compris des prédateurs naturels des organismes vecteurs), qui ont pour conséquence des invasions de niches écologiques
- les méthodes de production de bétails et de volailles industrielles, qui entraîne une proximité entre les animaux, propice au développement de maladies

- l'accroissement du commerce à longue distance des espèces animales sauvages (y compris la nourriture), qui favorise la circulation des agents pathogènes vers de nouvelles zones géographiques
- des modifications génétiques des vecteurs ou des agents pathogènes des maladies liées à l'homme (telles que la résistance des moustiques aux pesticides ou l'émergence de bactéries résistantes aux antibiotiques)

- *La régulation du climat*

Les écosystèmes naturels jouent un rôle important dans la régulation du climat et de la qualité de l'air, via le cycle du carbone, principalement en agissant comme des puits de carbone pour les gaz à effet de serre.

Le carbone est présent partout sur Terre en quantité importante mais finie, on le trouve dans les océans, les sols, les réserves de carbone fossile, la roche mère, l'atmosphère et la biomasse végétale. Ce carbone se déplace, sous ses diverses formes, entre la surface de la Terre, son intérieur et l'atmosphère, c'est ce qu'on appelle le cycle du carbone (figure 1).



<u>Figure 1 :</u> Le cycle du carbone(5)

Les principaux mécanismes de l'échange de carbone sont la photosynthèse, la respiration et l'oxydation. Un transfert a lieu entre les organismes vivants, l'atmosphère, la terre et l'eau. On représente le cycle du carbone sous forme de quatre réservoirs ou bassins interconnectés: l'atmosphère, la biosphère terrestre (y compris les systèmes en eau douce), les océans et les sédiments (y compris les combustibles fossiles)(6). Ces réservoirs sont soit des sources de carbone, soit des puits de carbone qui absorbent et stockent le carbone. Par exemple, les écosystèmes océaniques et les forestiers sont des puits de carbone, les premiers par l'intermédiaire du phytoplancton et des coraux, les seconds grâce à la photosynthèse. Les émissions de carbone, quant à elles, proviennent de la respiration des êtres vivants, mais aussi de plus en plus, des activités humaines.

La qualité de l'air peut donc être modifiée à travers les interactions avec les processus de nettoyage atmosphériques (par exemple, les puits pour les polluants atmosphériques et les particules issues de la combustion de la biomasse), et par la redistribution des nutriments (les effets fertilisants des dépôts d'azote, de dioxyde de carbone et de poussière…).

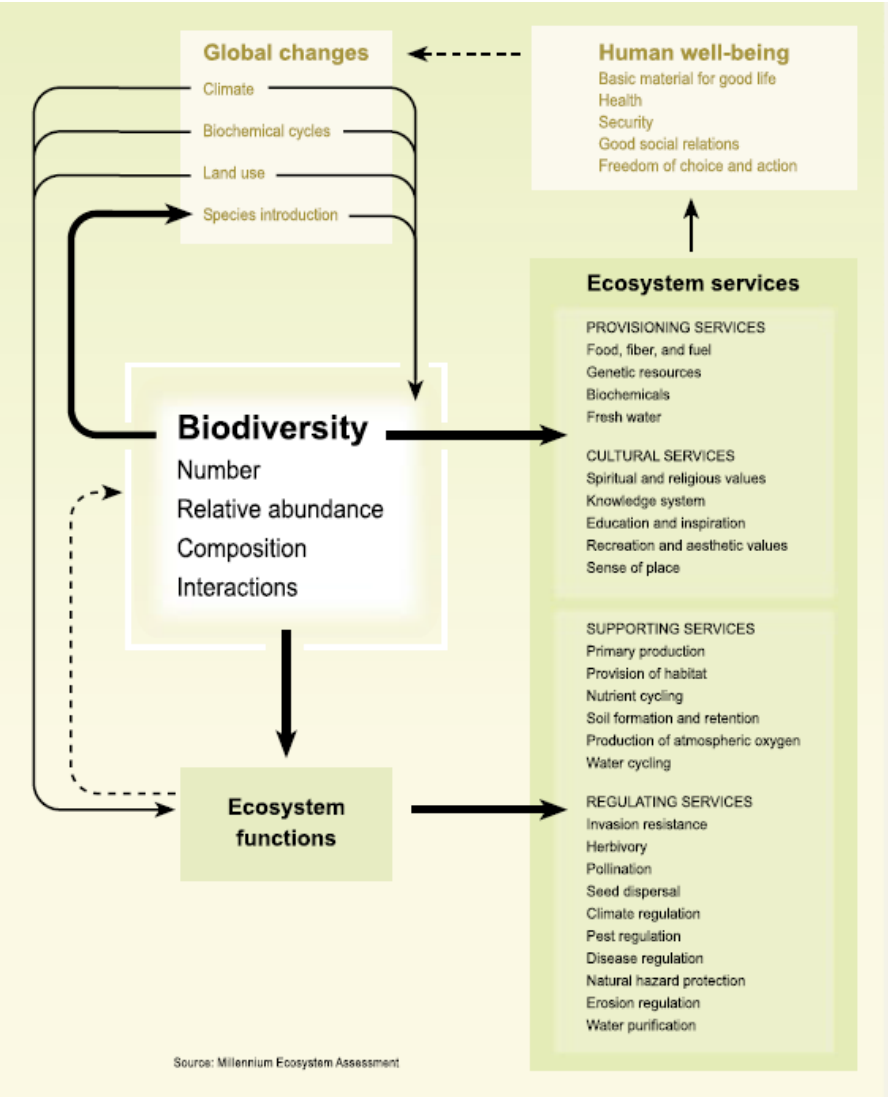
Ces mécanismes sont également influencés par l'albédo (quantité de lumière solaire incidente réfléchie par une surface), par exemple les forêts absorbent de l'énergie thermique, et ont donc un albédo plus faible que la neige, qui réfléchit le rayonnement solaire. Concernant le climat et le réchauffement climatique, cette variable est importante car elle exprime la part de rayonnement solaire qui va être renvoyée par l'atmosphère et la surface terrestre vers l'espace et qui donc ne servira pas à chauffer la planète.

Les changements dans les écosystèmes et les paysages comme la déforestation ou la désertification ont donc une influence sur les conditions climatiques. À plus grande échelle, l'altération de la composition de l'atmosphère liée aux activités humaines (effet de serre) affecte également les conditions climatiques. Chacun des services écosystémiques décrits ci-dessus est sensible aux conditions climatiques et donc sera touché par les changements climatiques induits par l'homme. À leur tour, ces changements dans les écosystèmes auront une incidence sur le bien-être et la santé des populations humaines.

Les effets directs, tels que la mortalité liée aux vagues de chaleur, sont faciles à prédire, mais les effets indirects sont susceptibles d'avoir un impact global plus important. La santé humaine est susceptible d'être touchée indirectement par les changements induits par le climat dans la répartition des écosystèmes productifs et dans la disponibilité de nourriture, d'eau et d'approvisionnement en énergie. Ces changements auront une incidence sur la répartition des maladies infectieuses, l'état nutritionnel et les modes de peuplement humain. De plus les phénomènes météorologiques extrêmes et l'élévation du niveau des mers devraient amplifier les changements climatiques.

Nous voyons donc que la biodiversité et la conservation des écosystèmes sont interdépendantes et indispensables au bien-être et à la santé des individus partout dans le monde (figure 2). En plus de subvenir aux besoins fondamentaux de la vie, les perturber a de graves conséquences pour nos sociétés. Ils interviennent dans nos moyens de subsistance, jouent un rôle dans l'urbanisation des territoires, influencent les revenus et le développement économique des sociétés… Nuire à ces écosystèmes revient à induire de vastes répercussions sur le bien-être et la santé publique, pouvant aller jusqu'à se traduire par des conflits politiques.

Toutefois, même conscient de leur importance, les écosystèmes sont menacés par des interventions humaines, mais aussi naturelles.



<u>Figure 2 :</u> Relations entre la biodiversité, les écosystèmes, le bien-être des êtres humains et le changement global(7)

B. Les atteintes à la biodiversité

Depuis 10 000 ans, nous vivons une période de stabilité géologique appelée Holocène, qui a vu se développer les civilisations humaines. Ces dernières ont un tel impact depuis la révolution industrielle sur les écosystèmes et l'environnement que les géologues appellent notre époque l'Anthropocène(8).

On recense ainsi de nombreuses atteintes à la biodiversité qui ont des impacts plus ou moins importants sur la santé humaine et l'émergence de maladies infectieuses. Trois causes principales qui interagissent entre elles, sont responsables de l'érosion de la biodiversité(9) :

- la destruction ou la dégradation des écosystèmes par les activités humaines (déforestation, pollution des sols et des eaux, fragmentation des habitats, prélèvement non durable de l'eau issue des nappes phréatiques…) ainsi que l'exploitation non durable de la biodiversité (chasse, pêche, exploitation forestière intensives, tourisme…)
- les invasions ou les proliférations d'espèces (telles que certaines algues et espèces cultivées envahissantes, ou espèces importées ou introduites accidentellement…)
- le réchauffement climatique qui perturbe les cycles biogéochimiques. Cet élément récemment mis en évidence est dû à un rejet massif de gaz à effet de serre dans l'atmosphère

Il existe de nombreuses interactions entre ces facteurs de changement. Ainsi, la surexploitation des espèces situées en bout de chaîne alimentaire peut favoriser l'installation d'espèces envahissantes. Ces dernières auront le plus souvent un impact sur la qualité de l'habitat et conduiront indirectement à une plus grande érosion de la biodiversité. La disparition des habitats favorise, par ailleurs, l'exploitation des animaux sauvages qui se concentrent sur des aires plus réduites et rend les écosystèmes plus vulnérables aux espèces envahissantes…

1. Quelles sont les causes d'érosion de la biodiversité ?

L'extinction d'espèces est un phénomène naturel qui a lieu sans l'action de l'homme. Cependant la perte de biodiversité s'est largement accélérée dans l'Anthropocène. Le taux d'extinction d'espèces n'a jamais été aussi élevé depuis la dernière extinction de masse(10).

Au niveau d'un écosystème donné, les extinctions locales ou fonctionnelles d'espèces sont bien moins visibles que les extinctions globales. Toutefois, elles apparaissent bien avant et ne sont pas sans conséquences notamment sur les services de support et de régulation des écosystèmes, entrainant une baisse de leur capacité d'adaptation aux changements, si bien qu'au-delà d'une certaine limite les pertes sont irrémédiables(7). La résilience et la stabilité des écosystèmes sont donc menacées.

Les causes de la perte en diversité biologique sont multiples. On distingue des causes directes, les plus importantes, et des causes indirectes qui en sont les racines.

Parmi les causes indirectes on trouve les changements dans les activités économiques, le changement démographique, des facteurs sociopolitiques, culturels et religieux ainsi que le changement technologique et scientifique.

En effet, depuis 1950 et la révolution industrielle, l'activité économique ne cesse de croitre avec la mondialisation ce qui amplifie les changements dans les services écosystémiques. De plus, la population mondiale ne cesse de croitre et ce de plus en plus rapidement, ce qui a de nombreuses conséquences sur les écosystèmes.

On a observé que la population mondiale a été quasiment multipliée par quatre au cours du siècle dernier et certaines estimations suggèrent que nous allons passer de sept à neuf milliards d'individus d'ici 2045(11). L'homme occupe de plus en plus de terrain et empiète sans arrêt sur les écosystèmes qui l'entourent, la demande en nourriture, eau potable et énergie se fait de plus en plus forte ce qui accentue encore la pression sur les écosystèmes.

De plus la répartition de la population humaine sur la planète évolue, au cours des dernières décennies, la plupart des régions du monde ont vues une importante migration humaine, des zones rurales vers les villes. Plus de la moitié de la population mondiale vit dans des zones urbaines à forte densité, dont beaucoup sont mal approvisionnées en services de support ou en services à la personne. Une telle migration et une vulnérabilité croissante signifie que même sans un nombre croissant d'événements extrêmes, les pertes attribuables à chaque événement auront tendance à augmenter.

Ceci est particulièrement préoccupant pour la durabilité des moyens de subsistance des habitants de petits États insulaires. Ces lieux constituent un exemple de populations victimes de la variabilité croissante du climat, de la hausse du niveau des mers et de la perte de la biodiversité, associés aux impacts sur la santé et le bien-être.

A ces phénomènes viennent s'ajouter les changements sociopolitiques, les changements de gouvernements avec notamment l'augmentation du nombre de démocraties, de nouvelles façon d'exploiter les ressources avec les avancées scientifiques et technologiques ainsi que les pratiques culturelles qui influent sur la manière d'exploiter les écosystèmes et de les modifier.

Parmi les causes directes d'érosion de la biodiversité la plus importante est l'évolution des habitats et les conséquences que cela implique en termes de modification des terres, des rivières ou d'exploitation des espèces. La transformation des habitats naturels et en particulier leur conversion en terres agricoles a un impact fort sur les écosystèmes présents sur ces terres.

Or, actuellement c'est un quart de la surface de la planète qui est consacré à l'approvisionnement en denrées alimentaires ou autre, et d'après les projections du Millenium Assessment, d'ici 2050 10 à 20% supplémentaire y seront consacré(7). Bien que l'agriculture permette d'exploiter les écosystèmes et de les maintenir, elle a aussi des effets délétères par ailleurs car elle contribue à la destruction des habitats, par exemple à cause des épandages d'engrais qui s'éliminent dans les eaux des rivières, détruisant la biodiversité qu'elle abrite.

D'autre part, dans leur phase active de croissance, les forêts sont les écosystèmes terrestres les plus efficaces pour capturer le dioxyde de carbone, le gaz à effet de serre responsable de la part la plus importante du réchauffement climatique. Toutefois, ces forêts doivent être maintenues intactes afin de servir de puits efficaces. En général, quand une forêt est supprimée et remplacée par des terres agricoles, elles capturent et contiennent moins de la moitié du carbone qui a été stocké par la forêt.

Ainsi, la surexploitation des ressources est aussi une cause non négligeable de destruction de la biodiversité. Elle est particulièrement criante lorsqu'on s'intéresse aux écosystèmes marins. On s'aperçoit que la demande mondiale en poissons et fruits de mer ne cesse d'augmenter alors que les trois-quarts des réserves de pêches sont soit complètement exploitées soit surexploitées.

Les échanges biotiques sont modifiés par la mondialisation des échanges. Le trafic de marchandises, les voyages et le tourisme entrainent la dissémination d'espèces dans des endroits nouveaux. Il peut s'agir d'espèces invasives qui peuvent détruire celles existantes (cas du frelon asiatique) ou encore de pathogène qui trouvent de nouveaux hôtes plus réceptifs car ils n'ont jamais rencontré ce pathogène auparavant.

Le relargage de déchets et substances toxiques dans l'environnement est une des causes les plus importantes de modification des écosystèmes terrestres et aquatiques. Depuis les années 1950, les activités humaines ont conduit à un relargage de plus en plus important d'azote, de phosphore, de soufre et d'autres polluants.

Or, il a été prouvé que le rejet d'azote dans l'air conduit à une diminution de la diversité en plante ainsi qu'à une prolifération d'algue et au phénomène d'eutrophisation dans les lacs et sur les côtes maritimes. Les mêmes problèmes sont observés avec le relargage du phosphore dans l'atmosphère(7).

Un des exemples des conséquences de la pollution des rivières et des terres est la prolifération d'algues vertes sur les côtes bretonnes. En effet, des rivières chargées en nitrates se jettent dans l'océan Atlantique et lorsque les conditions d'ensoleillement sont favorables, des algues nitrophiles prolifèrent, créant de véritables marées vertes(12). Il n'existe pas d'étude exhaustive sur les conséquences écologiques de ce phénomène. Cependant dans les zones de forte prolifération, le développement des autres végétaux est fortement impacté car les algues les étouffent. De plus elles prolifèrent dans les aires d'alimentation de nombreuses espèces d'oiseaux, qui ne peuvent alors plus se nourrir. A contrario, une autre espèce d'oiseau, les bernaches cravants profitent de cette prolifération car ils se nourrissent de ces algues(13).

Enfin la dernière cause directe d'érosion de la biodiversité est le changement climatique qui est amplifié par les activités anthropiques. Il sera développé plus en détails dans le prochain paragraphe.

2. Le changement climatique

Le changement climatique désigne une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistant pendant de longues périodes. Si la température en est la variable emblématique, l'ensemble des paramètres climatiques (humidité, nébulosité, précipitation, teneur en CO_2 de l'atmosphère) sont concernés.

Cependant il ne s'agit pas seulement de modifications des conditions atmosphériques et océaniques à l'échelle mondiale mais plutôt d'une « chaîne d'impacts ». Les perturbations du système climatique vont se traduire par une évolution de certains grands paramètres (température, précipitations, niveau de la mer) qui se répercutera sur la fréquence, l'intensité et la répartition géographique des aléas naturels. Ceux-ci auront eux-mêmes des conséquences plus ou moins marquées sur les ressources naturelles des écosystèmes (l'eau, les sols, l'espace terrestre disponible…) puis, par effet domino, sur les sociétés humaines (santé, agriculture, production d'énergie…).

- *Les changements observés dans le système climatique*

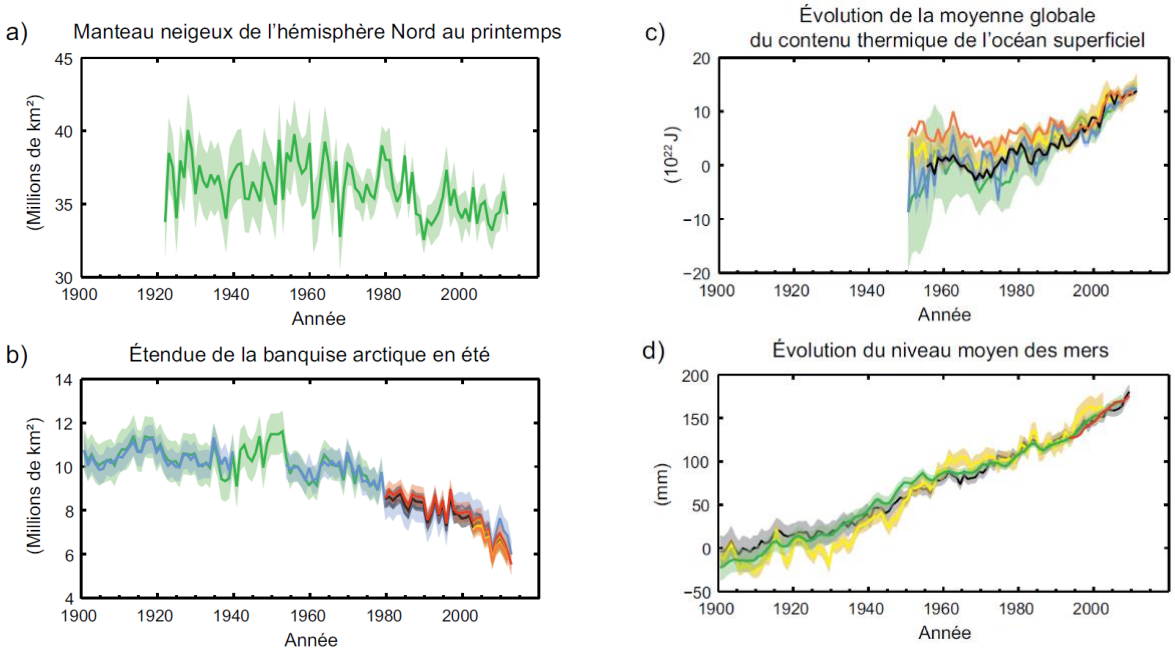
Les observations du système climatique s'appuient sur des mesures directes et sur la télédétection à partir de satellites ou d'autres plates-formes. À l'échelle mondiale, les observations de l'ère instrumentale ont débuté vers le milieu du XIXe siècle pour certaines variables telles que la température, les jeux de données d'observation étant plus complets et diversifiés à partir des années 1950. L'ensemble de ces données fournit une vision globale de la variabilité et des changements à long terme de l'atmosphère, de l'océan, de la cryosphère et de la surface des terres émergées.

Un groupe d'expert, le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) étudie le réchauffement global du système climatique et ses conséquences sur notre planète. Ils concluent dans leur dernier rapport, publié en 2013, que le réchauffement climatique est sans équivoque et, depuis les années 1950, beaucoup de changements observés sont sans précédents depuis des décennies voire des millénaires. L'atmosphère et l'océan se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué, le niveau des mers s'est élevé et les concentrations des gaz à effet de serre ont augmenté(14).

Les changements climatiques et leurs conséquences ont été observés et mesurés à plusieurs niveaux. Au niveau de la température atmosphérique chacune des trois dernières décennies a été successivement plus chaude à la surface de la Terre que toutes les décennies précédentes depuis 1850. Les années 1983 à 2012 constituent probablement la période de 30 ans la plus chaude qu'ait connue l'hémisphère Nord depuis 1 400 ans. Le réchauffement océanique, quant à lui, constitue l'essentiel de l'augmentation de la quantité d'énergie emmagasinée au sein du système climatique et représente plus de 90 % de l'énergie accumulée entre 1971 et

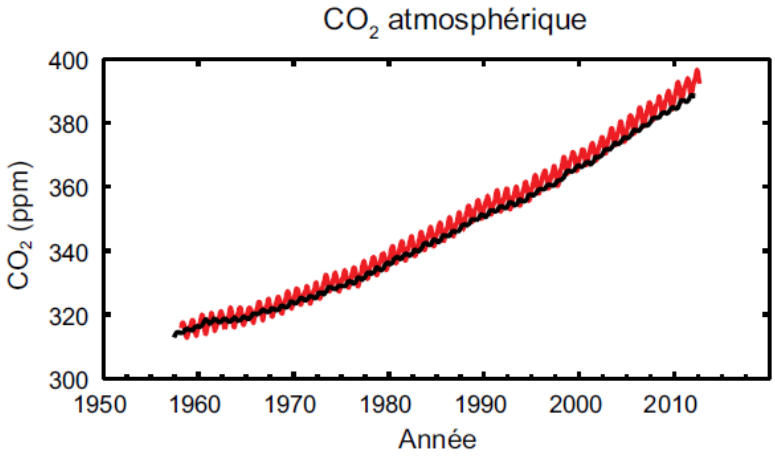
2010. Il est quasiment certain que l'océan superficiel (jusqu'à 700 m de profondeur) s'est réchauffé entre 1971 et 2010, voire probablement depuis les années 1870.

La masse des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique a diminué au cours des deux dernières décennies. Les glaciers de presque toutes les régions du globe et l'étendue de la banquise arctique ont continué à se réduire. Depuis le début des années 1970, la somme de la perte de masse des glaciers et de l'expansion thermique des océans dus au réchauffement expliquent environ 75 % de l'élévation du niveau moyen des mers. Sur la période 1993-2010, l'élévation du niveau moyen des mers est en accord avec la somme des contributions observées de l'expansion thermique océanique due au réchauffement et des changements affectant les glaciers, la calotte du Groenland, la calotte de l'Antarctique et le stockage d'eaux continentales. La somme de ces contributions correspond à 2,8 mm/an. De plus, le rythme d'élévation du niveau moyen des mers s'accélère car depuis le milieu du XIX^{e} siècle, il est supérieur au rythme moyen des deux derniers millénaires (figure 3).



<u>Figure 3 :</u> Différents indicateurs de l'évolution du climat(14)

Concernant le cycle du carbone et les autres cycles géochimiques, les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone (CO_2), de méthane et de protoxyde d'azote ont augmenté pour atteindre des niveaux sans précédents depuis au moins 800 000 ans. La concentration du dioxyde de carbone a augmenté de 40 % depuis l'époque préindustrielle (figure 4). Cette augmentation s'explique en premier lieu par l'utilisation de combustibles fossiles et en second lieu par le bilan des émissions dues aux changements d'utilisation des sols. L'océan a absorbé environ 30 % des émissions anthropiques de dioxyde de carbone, ce qui a entraîné une acidification de ses eaux. L'acidification de l'océan est quantifiée par la diminution du pH de 0,1 depuis le début de l'ère industrielle, soit une augmentation de 26 % de la concentration en ions hydrogène, responsables de l'acidité de l'eau.



<u>Figure 4 :</u> Evolution de la concentration de CO_2 atmosphérique(14)

On détecte l'influence des activités humaines dans le réchauffement de l'atmosphère et de l'océan, les changements du cycle de l'eau, le recul des neiges et des glaces, l'élévation du niveau moyen mondial des mers et dans la modification de certains évènements climatiques extrêmes. On a gagné en certitude à ce sujet depuis le quatrième rapport d'évaluation publié en 2007. Il est extrêmement probable que l'influence de l'homme est la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XX^{e} siècle(14).

Les risques sanitaires du changement climatique devraient augmenter. Les activités humaines sont responsables en une année de l'émission d'environ 7,9 milliards de tonnes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Le reboisement et les changements dans les pratiques agricoles dans les régions tempérées au cours des dernières décennies ont renforcé la capacité de la Terre à absorber le carbone, mais pas suffisamment pour enrayer le changement climatique. Réduire les émissions de carbone anthropiques est essentiel à l'atténuation du changement climatique. Améliorer ou maintenir la capacité des écosystèmes à absorber le carbone est tout aussi important.

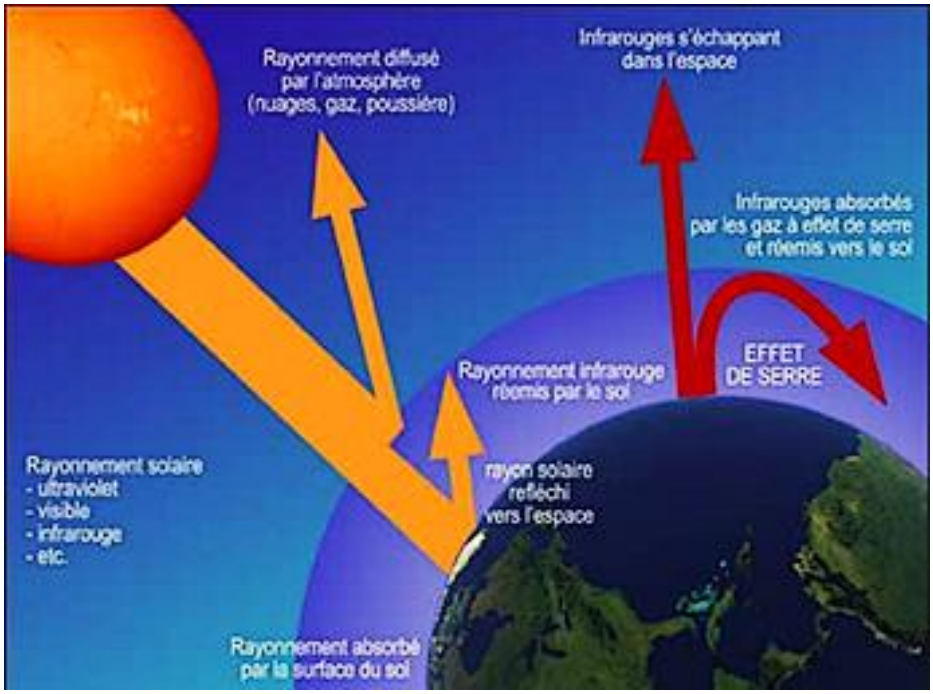
- *Les facteurs de changement climatique*

Les substances et processus naturels et anthropiques qui modifient le bilan énergétique de la Terre sont des facteurs qui provoquent le changement climatique. Le forçage radiatif quantifie le changement des flux énergétiques dû à l'évolution de ces facteurs. Un forçage radiatif positif entraîne un réchauffement de la surface, tandis qu'un forçage radiatif négatif provoque un refroidissement de la surface. Le forçage radiatif est évalué sur la base d'observations *in situ* et par télédétection, des propriétés des gaz à effet de serre et des aérosols, et à partir de calculs faisant appel à des modèles numériques représentant les processus observés.

Il ressort du dernier rapport du GIEC que le forçage radiatif total est positif et a conduit à une absorption nette d'énergie par le système climatique. La plus grande contribution à ce forçage

radiatif provient de l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO_2 depuis 1750, qui contribue très fortement au phénomène d'effet de serre(14).

L'effet de serre est un phénomène physique qui permet de maintenir une température moyenne de 15°C à la surface de la Terre. Lorsque le rayonnement solaire arrive sur notre planète, 30% est directement réfléchi vers l'espace. Le reste est absorbé par les divers composants de notre planète puis finalement réémis vers l'espace sous forme de rayonnement infrarouge (figure 5).



<u>Figure 5 :</u> Schéma de l'effet de serre(15)

Les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère, qui avaient laissé passer la lumière, ont par contre la propriété d'absorber une partie de ces infrarouges. Ce faisant, ils en récupèrent l'énergie qu'ils vont ensuite dissiper et dont une partie retourne vers le sol, le chauffant une deuxième fois. Cette interception de chaleur conduit donc, l'atmosphère basse (la troposphère) et la surface de la Terre à être plus chauds. Le système finit par s'équilibrer à une température de surface supérieure à celle qu'il aurait si ces gaz à effet de serre n'étaient pas présents(16).

L'un des principaux gaz à effet de serre est le dioxyde de carbone, sa concentration atmosphérique a fortement augmenté en conséquence des activités humaines entreprises depuis 1750 et dépasse aujourd'hui largement les valeurs préindustrielles déterminées à partir des carottes de glace. De plus, le rythme d'accroissement annuel de la concentration de dioxyde de carbone a été plus rapide au cours des dix dernières années que depuis le début des mesures directes atmosphériques continues (1,9 ppm/an en moyenne pour 1995-2005 contre 1,4 ppm/an en moyenne pour 1960-2005)(17).Entre 1750 et 2011, les émissions de CO_2 dues à

l'utilisation de combustibles fossiles et à la production de ciment ont libéré 375 gigatonnes de carbone (GtC) dans l'atmosphère et l'on estime que la déforestation et d'autres changements d'utilisation des sols ont relâché 180 GtC. Cela se traduit par des émissions cumulées de 555 GtC. Parmi ces émissions anthropiques cumulées de CO_2, 240 GtC se sont accumulées dans l'atmosphère, 155 GtC ont été absorbées par les océans et 160 GtC se sont accumulées dans les écosystèmes terrestres naturels (c'est-à-dire le puits de carbone continental).

Toujours d'après le rapport du GIEC, les experts prévoient que la poursuite des émissions de gaz à effet de serre au rythme actuel ou à un rythme supérieur provoquerait un réchauffement supplémentaire. Ceci entraînerait de nombreuses modifications du système climatique mondial au cours du XXI^{e} siècle qui seraient très probablement plus importantes que celles observées au cours du XX^{e} siècle. Pour limiter le changement climatique, il faudra réduire notablement et durablement les émissions de gaz à effet de serre.

- *Changements climatiques mondiaux et régionaux à venir*

Les projections des changements au sein du système climatique sont réalisées à l'aide d'une hiérarchie de modèles climatiques. Ces modèles simulent les changements à partir d'un ensemble de scénarios de forçages anthropiques. Un nouvel ensemble de scénarios, les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP), a été utilisé pour les nouvelles simulations de modèles climatiques réalisées dans le cadre pour le programme mondial de recherche sur le climat et publié dans le dernier rapport du GIEC. Dans tous les RCP, les concentrations atmosphériques du CO_2 sont plus élevées en 2100 qu'actuellement, en raison d'une poursuite de l'augmentation du cumul des émissions de CO_2 dans l'atmosphère au cours du XXI^{e} siècle(14). D'après les experts du GIEC, plusieurs scénarios de l'évolution climatique plus ou moins pessimistes, sont possibles.

Dans la majorité d'entre eux, ils prévoient qu'à la fin du XXI$_{e}$ siècle, l'augmentation de la température à la surface du globe sera probablement supérieure à 1,5°C par rapport à l'époque allant de 1850 à 1900. Dans tous les RCP envisagés à l'exception du RCP 2,6, le réchauffement se poursuivra après 2100 mais ne sera pas uniforme d'une région à l'autre. De même, les changements concernant le cycle mondial de l'eau en réponse au réchauffement au cours du XXI$_{e}$ siècle ne seront pas uniformes. Le contraste des précipitations entre régions humides et régions sèches ainsi qu'entre saisons humides et saisons sèches augmentera, bien qu'il puisse exister des exceptions régionales.

À l'échelle mondiale, l'océan continuera à se réchauffer au cours du XXI^{e} siècle. La chaleur sera absorbée à la surface et pénètrera jusqu'à l'océan profond, perturbant la circulation océanique. De plus, il est très probable qu'au cours du XXI^{e} siècle, l'étendue et l'épaisseur de la banquise arctique continueront à diminuer, de même que l'étendue du manteau neigeux de l'hémisphère Nord au printemps, au fur et à mesure de l'augmentation de la température moyenne à la surface du globe. À l'échelle mondiale, les glaciers continueront de perdre de leur volume. Le niveau moyen mondial des mers continuera donc à s'élever au cours du XXI^{e} siècle. Selon tous les RCP, il est très probable que cette élévation se produira à un rythme plus rapide que celui observé entre 1971 et 2010, en raison du réchauffement accru de l'océan et de l'augmentation de perte de masse des glaciers et des calottes glaciaires. Le phénomène

d'acidification de l'océan augmentera, puisque ce dernier continuera de piéger du carbone(14).

La moyenne mondiale du réchauffement en surface vers la fin du XXI^{e} siècle et au-delà est déterminée dans une large mesure par le cumul des émissions de CO_2. En conséquence, même si les concentrations des gaz à effet de serre étaient stabilisées, le réchauffement et l'élévation du niveau de la mer dus à l'homme continueraient en raison des échelles temporelles associées aux processus climatiques et aux rétroactions. En effet, l'inertie du changement climatique est considérable, de l'ordre de plusieurs siècles, et elle est due aux émissions de CO_2 passées, actuelles et futures.

- *En Europe*

Le GIEC s'est aussi penché sur les conséquences du réchauffement climatique à l'échelle régionale. Ainsi, en Europe, pour la première fois, les impacts de l'évolution climatique ont été dûment constatés : recul des glaciers, allongement des saisons de végétation, déplacement géographique de certaines espèces, ainsi que les conséquences sur la santé provoquées par des vagues de chaleur sans précédent.

Presque toutes les régions d'Europe devraient subir certaines incidences négatives du changement climatique, qui soulèveront des difficultés dans de nombreux secteurs économiques. On s'attend ainsi à ce que les changements climatiques accentuent la disparité régionale en matière de ressources naturelles.

Au nombre de ces incidences négatives figureront un risque accru d'inondations éclairs à l'intérieur des terres ainsi que des inondations côtières plus fréquentes et une érosion plus active (due aux tempêtes et à l'élévation du niveau de la mer). La grande majorité des organismes et des écosystèmes auront du mal à s'adapter aux changements climatiques. Les régions montagneuses devront faire face au recul des glaciers, à la réduction du manteau neigeux et du tourisme hivernal et à la disparition de nombreuses espèces (selon les scénarios d'émissions élevées, 60% des espèces pourraient avoir disparu dans certaines régions vers 2080)(17).

Les projections concernant le sud de l'Europe, indiquent que les changements climatiques vont aggraver la situation (températures élevées et sécheresses) dans une région qui est déjà vulnérable à la variabilité du climat et influer négativement sur l'approvisionnement en eau, le potentiel hydroélectrique, le tourisme estival et les rendements agricoles. Les changements climatiques induiraient également des risques accrus pour la santé à la suite des vagues de chaleur et de la multiplication des incendies de forêt.

L'Europe Centrale et de l'Est verront décroître le volume des précipitations estivales ce qui accentuera le stress hydrique. Les vagues de chaleur entraîneront des risques accrus pour la santé. Le rendement de la production sylvicole va certainement diminuer, tandis que la fréquence des feux de tourbières va augmenter.

Au nord de l'Europe, les changements climatiques auront des effets mitigés: dans un premier temps ils seront bénéfiques, puisque réduisant la demande en chauffage, augmentant la production agricole et la croissance des forêts. Mais, avec l'évolution du climat, les effets

négatifs prendront probablement le pas sur les avantages (inondations hivernales plus fréquentes, écosystèmes menacés et instabilité croissante des sols, par exemple).

D'après les projections, d'une manière générale, les expositions liées aux changements climatiques affecteront probablement la santé de millions de personnes et, en particulier, celles qui ont une faible capacité d'adaptation, par le biais:

- de malnutrition aggravée et des dérèglements qui s'ensuivent, avec des implications sur la croissance et le développement des enfants;
- de l'augmentation du nombre de décès, de maladies et d'accidents dus aux canicules, inondations, tempêtes, incendies et sécheresses;
- de maladies diarrhéiques chroniques plus fréquentes;
- d'affections cardio-vasculaires plus fréquentes dues aux concentrations plus élevées d'ozone au ras du sol provoquées par le changement climatique;
- de la modification de la répartition spatiale de certains vecteurs de maladies infectieuses.

La résilience de nombreux écosystèmes sera probablement dépassée au cours de ce siècle par un amalgame sans précédent de changements climatiques, de perturbations (inondations, sécheresses, incendies, insectes, acidification des océans etc.), et d'autres facteurs de changements mondiaux (modification de l'affectation des terres, pollution, surexploitation des ressources etc.). Si la température mondiale moyenne dépassait 1,5 à 2,5°C, jusqu'à 20 à 30% de la faune et de la flore seraient probablement menacés d'extinction. Pour une augmentation de la température moyenne globale au-delà de 1,5 à 2,5°C et une croissance associée de la concentration atmosphérique en CO_2, les projections montrent des changements importants dans la structure et la fonction des écosystèmes, les interactions écologiques entre les espèces, et les aires de répartition des espèces, avec des conséquences principalement négatives pour la biodiversité et les biens et services des écosystèmes, par exemple les provisions en eau et en produits alimentaires(17).

3. Adaptation des écosystèmes aux contraintes anthropiques et climatiques

En raison des contraintes auxquelles elles sont soumises, les espèces sont forcées de s'adapter sous peine d'être menacées d'extinction C'est pour cette raison que l'on observe des phénomènes de migration afin qu'elles trouvent une aire aux conditions plus favorable. Cependant, ces phénomènes migratoires sont parfois exacerbés par les contraintes climatiques et on observe alors une véritable invasion d'un écosystème par une nouvelle espèce qui fragilise l'équilibre en place.

Le nombre et la diversité des espèces qui existent aujourd'hui est le résultat de plus de 3,5 milliards d'années d'évolution impliquant spéciation, radiation, mais aussi extinction et, plus récemment, le résultat des impacts de l'homme. Les estimations actuelles du nombre total d'espèces eucaryotes vivant sur terre vont de deux à cent millions mais le plus souvent elles sont comprises entre cinq et trente millions. On estime qu'un peu moins de 1,8 million ont été décrites. Alors que les scientifiques discutent du nombre d'espèces existantes, l'inquiétude grandit quant au statut de la biodiversité, et en particulier au déclin des populations (ex : l'Indice Planète Vivante qui suit la tendance des populations de 1 686 espèces animales présente un déclin général de 30% entre 1970 et 2005(19)) mais aussi à l'accélération du rythme d'extinction des espèces, décrites ou non, qui sont le résultat direct ou indirect des activités humaines. La Liste Rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) donne un aperçu très utile du statut actuel des espèces à travers le monde, et souligne l'urgence d'agir pour leur conservation (figure 6).

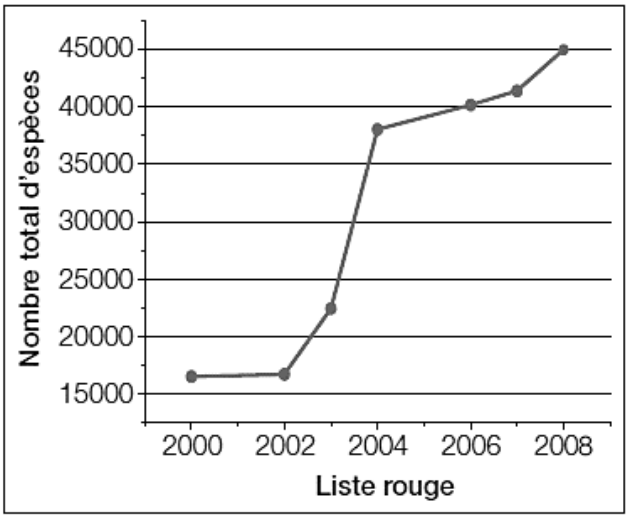
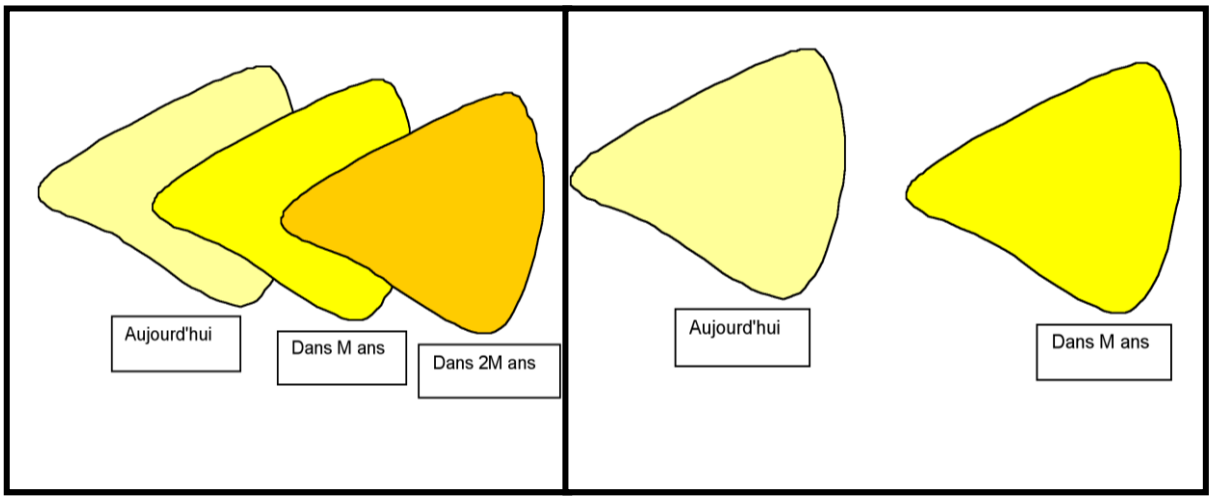


Figure 6 : Nombre d'espèces apparaissant sur la Liste rouge de l'UICN publiée depuis 2000(20)

En 2008, la liste incluait 44 838 espèces dont 16 928 sont menacées et 1 159 sont considérées comme éteintes ou peut être éteintes. Un examen plus approfondi de certains groupes taxonomiques révèle que les proportions d'espèces menacées diffèrent considérablement entre les groupes, le pourcentage d'espèces menacées allant de 12% pour les oiseaux, à 52% pour les cycadales. En général, il semble que les groupes plus mobiles, comme les oiseaux et les libellules, soient moins menacés. Actuellement, les deux groupes qui comptent la plus grande proportion d'espèces menacées sont les amphibiens et les cycadales. Les espèces qui appartiennent à ces groupes sont généralement moins mobiles, et ont de plus petites aires de répartition; elles sont donc plus facilement touchées par des menaces telles qu'une maladie comme la chytridiomycose causée par le champignon *Batrachochytrium dendrobatis* dans le cas des amphibiens, et par les collectes illégales dans le cas des cycadales(20).

Pour continuer à vivre, une espèce doit se trouver dans un milieu favorable, si le milieu se dégrade, à cause des changements climatiques par exemple, elle migre jusqu'à trouver un écosystème qui lui convient. Cependant, avec la rapidité à laquelle les variables climatiques évoluent, on craint que les espèces ne migrent pas assez rapidement : elles sont alors menacées d'extinction (Figure 7).



<u>Figure 7 :</u> Déplacement de la zone de répartition d'une espèce en fonction de la vitesse des changements climatiques et environnementaux(16)

A gauche la vitesse des changements climatiques et environnementaux est suffisamment lente pour que l'espèce ne s'éteigne pas, à droite le changement trop brutal provoque une cassure dans la migration de l'aire de répartition de l'espèce, qui est vouée à l'extinction.

Une méta-analyse menée en 2011 a ainsi démontré que les espèces vivantes végétales et animales effectuent une remontée impressionnante et générale depuis l'équateur vers les pôles et des plaines vers les sommets. En moyenne le déplacement est de 16,9 km par décennies. Lorsque qu'elles ne changent pas de latitudes, ces espèces se déplacent en altitude d'environ 11 mètres par décennies(21). De plus, les chercheurs ont pu corréler ces déplacements au réchauffement climatique en étudiant ce phénomène sur les quarante dernières années. Ils se sont rendu compte que les espèces se déplacent au même rythme que l'isotherme(22). Les régions dont la température a augmenté le plus voient les mouvements les plus forts. Pour les biologistes, cela confirme que ce déplacement est causé par le réchauffement climatique.

Les chercheurs n'ont pas constaté de différences entre les différents groupes taxinomiques: les plantes se déplacent au même rythme que les insectes, les oiseaux et les mammifères. En revanche, certaines espèces se déplacent beaucoup plus vite que d'autres. C'est le cas du papillon commun qui s'est déplacé de 200 kilomètres en deux décennies, du centre de l'Angleterre à l'Ecosse. Ou des papillons de nuit à Bornéo qui ont pris 67 mètres d'altitude en quelques décennies. Ainsi, pour gagner un habitat plus frais de 0,5°C, les espèces doivent parcourir en moyenne 50 à 60 kilomètres ou moins de 100 mètres en altitude. Mais le taux de migration en altitude est beaucoup plus lent. « Soit les espèces se trouvent coincées au sommet des montagnes, soit elles se déplacent latéralement vers des zones plus froides », présume Chris Thomas, de l'université de York(23). À l'inverse, 22 % des espèces étudiées se sont déplacées vers des zones plus chaudes, ce qui laisse penser qu'elles seraient plus tolérantes aux changements de température que les autres.

« Ces migrations animales et végétales rapides en réaction au changement climatique pourraient indiquer que nombre d'espèces seraient en danger d'extinction dans des zones où les conditions climatiques se détériorent », analyse le professeur Chris Thomas.

Si Wendy Foden, biologiste à l'UICN voit une note d'optimisme dans la capacité des espèces à s'adapter, elle craint néanmoins que la nature ne s'adapte pas à un changement climatique plus rapide(23).

D'autre part, certaines espèces se déplacent massivement vers des écosystèmes nouveaux et y prolifèrent, modifiant l'équilibre qui y était présent : il s'agit des espèces invasives.

Les espèces invasives ont en général un fort impact écologique. Les changements climatiques, y compris les événements climatiques extrêmes (tels que les tempêtes ou les cyclones), peuvent accentuer les processus d'invasion. A cela s'ajoutent les activités humaines, telles que le transport transcontinental, la dégradation des terres et les systèmes agricoles, qui conduisent à la propagation de nombreuses espèces non indigènes. Par exemple, en Europe, le nombre d'espèces invasives a augmenté de 76% au cours des 30 dernières années : on compte maintenant plus de 11000 espèces non-natives en Europe(24).

Une étude récente s'est intéressée aux effets simultanés du changement climatique et de l'utilisation des terres sur les invasions biologiques. Les chercheurs ont combiné des modèles de distribution des espèces, des modèles climatiques mondiaux et des scénarios de changement d'occupation des sols. Cela a permis d'évaluer la vulnérabilité future des divers biomes aux cent espèces les plus invasives. Les résultats montrent, pour la première fois, que l'ampleur et la structure de l'invasion dans le monde devrait changer au cours du XXIe siècle pour un large échantillon d'espèces envahissantes. Les chercheurs ont notamment identifié trois futurs points chauds d'invasion : en Europe, dans le nord-est américain et en Océanie. Plus globalement les régions continentales et tempérées en particulier dans l'hémisphère nord seront les cibles privilégiées des espèces invasives tandis que les régions tropicales et aux conditions climatiques extrêmes seront relativement épargnées(25).

En Europe, en réponse à ce phénomène qui menace la biodiversité et la santé, le programme Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe (DAISIE) a été créé afin de répertorier les espèces invasives et de lutter contre les invasions. Ce programme a établi la liste des cent espèces les plus invasives(26). Dans cette liste on trouve aussi bien des espèces végétales comme l'ambroisie (*Ambrosia artemisiifolia*). Cette plante est originaire d'Amérique du Nord. Elle est apparue en France en 1863, vraisemblablement introduite par un lot de semences fourragères. C'est à la faveur des grands travaux d'aménagement du territoire, depuis les années 50, qu'elle est partie à la conquête des zones où le climat lui était favorable. On la trouve actuellement dans tout le territoire français mais elle est plus particulièrement présente dans la région Rhône-Alpes(27). Le pollen d'ambroisie est particulièrement allergisant, 6 à 12 % de la population y est sensible et il suffit de 5 grains de pollen par mètre cube d'air pour que les symptômes apparaissent (rhinite, asthme, conjonctivite ou eczéma). Cela génère pour la région Rhône-Alpes des coûts de santé estimés entre 11 et 16 millions d'euros pour l'année 2012 Pour cette raison la lutte contre l'ambroisie est un objectif du Plan national santé environnement (PNSE 2), repris dans le Plan régional santé environnement de Rhône-Alpes (PRSE 2)(28).

Parmi les espèces animales figurant dans le programme DAISIE, on trouve le moustique tigre (*Aedes albopictus*) vecteur de nombreuses arboviroses, ou encore des mammifères comme le rat (*Rattus norvegicus*) ou le ragondin (*Myocastor coypu*) qui feront l'objet de la deuxième partie de cette thèse.

C. Biodiversité et santé

La biodiversité et la santé sont intrinsèquement liées bien que cette relation soit peu visible. Nous avons vu au début de cette partie que la biodiversité est indispensable à notre survie grâce aux services de support et de régulation des écosystèmes. La biodiversité nous protège aussi contre la propagation des maladies en maintenant un équilibre dynamique dans l'évolution des espèces et de leur diversité. Elle permet aussi de contribuer aux soins grâce à ses bienfaits psychologiques. Cependant lorsque cet équilibre est rompu suite à des évènements climatiques extrêmes ou à cause de l'érosion progressive de la diversité biologique, les conséquences pour la santé peuvent être dramatiques, incluant notamment l'émergence de maladies infectieuses dans des zones géographiques où elles étaient inconnues.

1. Bienfaits de la biodiversité pour la santé

La biodiversité apporte beaucoup à la santé, en particulier en régulant les maladies infectieuses, notamment grâce à un effet de dilution, ou encore les phénomènes climatiques, mais aussi d'un point de vue psychologique : un environnement naturel est bénéfique pour l'Homme.

- *Effet de dilution :*

Aujourd'hui de nombreuses maladies émergentes affectant l'homme sont d'origine zoonotique, c'est-à-dire que les agents pathogènes circulent entre plusieurs espèces animales et infectent accidentellement l'homme de façon plus ou moins sporadique.

Si l'appauvrissement accéléré de la biodiversité peut être intuitivement vu comme bénéfique, car les populations humaines seraient soumises à moins d'agents pathogènes d'origine animale, en réalité ce constat est erroné dans de nombreux cas. Il semble, au contraire, que la diminution du nombre d'espèces animales représente un risque accru de transmission de pathogènes animaux à l'homme.

En effet, des études montrent que plus la diversité en espèce d'un écosystème est grande moins les maladies infectieuses se développent. Cela est dû au fait que certaines espèces sont des « culs-de-sac » épidémiologiques pour certaines maladies, elles peuvent s'infecter mais ne participent pas à la transmission du pathogène, le cycle de transmission de la maladie s'arrête donc à cet hôte incompétent.

Si dans un écosystème l'abondance d'espèces « cul-de-sac » augmente avec le nombre total d'individus, tandis que celui des hôtes compétents diminue, alors la diversité des espèces hôtes (en moyenne peu compétentes) peut réduire, voire bloquer, la transmission de ces maladies. C'est ce qu'on appelle « l'effet de dilution »(29)

On observe ce phénomène pour des maladies humaines à transmission vectorielle. Par exemple, dans le cas de la maladie de Lyme, des données empiriques viennent appuyer cette

théorie. Cette maladie est transmise par des tiques à de petits mammifères et à l'homme. La prévalence est en nette augmentation en Europe et aux Etats-Unis. Or, c'est dans les états qui ont la plus forte diversité en petits mammifères que la prévalence de la maladie est la plus faible.

Il en va de même pour la fièvre du Nil occidental, Cette maladie est transmise par des moustiques à de nombreuses espèces d'oiseaux et plus rarement à l'homme. Le virus de cette maladie était d'abord présent dans l'Est de l'Afrique et sporadiquement dans le Sud de l'Europe, on le retrouve maintenant aux Etats-Unis et on remarque que dans les zones où la diversité en oiseaux est la plus forte, comme la Louisiane, les cas humains de fièvre du Nil occidental sont moins fréquents.

La biodiversité constitue donc une protection vis-à-vis de ces maladies.

Chaque espèce est plus ou moins spécifique des pathogènes qu'elle transporte: plus le milieu est diversifié en espèces plus il est difficile pour le pathogène de se transmettre car il faut qu'il passe la barrière d'espèce et même s'il y arrive il risque de tomber sur une espèce « cul de sac » qui stoppe sa transmission. C'est pourquoi lorsqu'un milieu est appauvrit en espèces les individus sont plus réceptifs aux maladies(29).

- *Apports psychologiques de la biodiversité :*

L'apport des espaces verts en terme de qualité de vie globale est connu depuis longtemps: le contact avec la nature a des effets positifs directs sur la santé, il contribue, entre autre, à la restauration des capacités physiologiques et psychiques. De plus, il semble que la présence d'espaces verts encourage la pratique d'activités physiques et les relations sociales.

A l'échelle d'une ville, les parcs et les espaces verts jouent un rôle positif au niveau physique, psychologique et social : amélioration de l'état de santé, en particulier chez les populations défavorisées et âgées, états psychologique de bien-être avec diminution du stress, du taux de suicide, de l'anxiété et de la dépression. Les personnes vivant à proximité d'espaces verts ont globalement une meilleure santé : elles expriment moins de plaintes concernant leur santé physique et mentale. Cela est significativement corrélé avec un moindre niveau de stress et l'absence de lien avec une augmentation de l'exercice physique plaide en faveur d'un effet psychologique propre de l'espace vert. D'autre part, il a été montré un effet bénéfique de la nature sur les capacités attentionnelles et les capacités à surmonter un évènement stressant(29).

Trois théories tentent d'expliquer le rôle bénéfique de la nature et des espaces verts. La première est la théorie de la biophilie de Wilson(30), selon laquelle l'homme recherche inconsciemment le contact avec les autres espèces et a besoin d'une relation de proximité avec la nature. La deuxième est la théorie de la réduction du stress d'Ulrich (ou théorie psycho-évolutionniste)(30) selon laquelle un environnement naturel nous aiderait à récupérer après des évènements stressants. La troisième théorie, celle de Kaplan et Kaplan(31), postule qu'un environnement naturel facilite la récupération face aux phénomènes de stress, fatigue et de difficultés attentionnelles notamment par un mécanisme de prise de distance par rapport aux activités routinières.

Dans le domaine du soin, les études convergent pour montrer que cet effet positif d'un environnement vert existe aussi pour les malades. Actuellement, des jardins thérapeutiques se développent dans les hôpitaux de courts séjours, psychiatriques, pédiatriques, les centres anticancéreux, les structures de soins palliatifs, de gériatrie et en particulier pour les patients atteints de la maladie d'Alzheimer. Ces bienfaits se retrouvent aussi chez les enfants atteints d'hyperactivités : leurs troubles diminuent lorsqu'ils habitent dans un endroit plus verdoyant.

Ainsi, on a observé chez des patients opérés de la vésicule biliaire que la simple vue sur un espace vert depuis leur chambre d'hôpital s'avère bénéfique sur la durée du séjour, la fréquence des doléances et la consommation d'antalgiques. De même la réalisation d'un pansement est jugée moins douloureuse lorsque le patient regarde une vidéo représentant la nature. Le degré d'ensoleillement des chambres joue aussi un rôle en soins intensifs de cardiologie sur la durée de séjour, le nombre de décès et sur la douleur et le stress ressentis après une chirurgie(29).

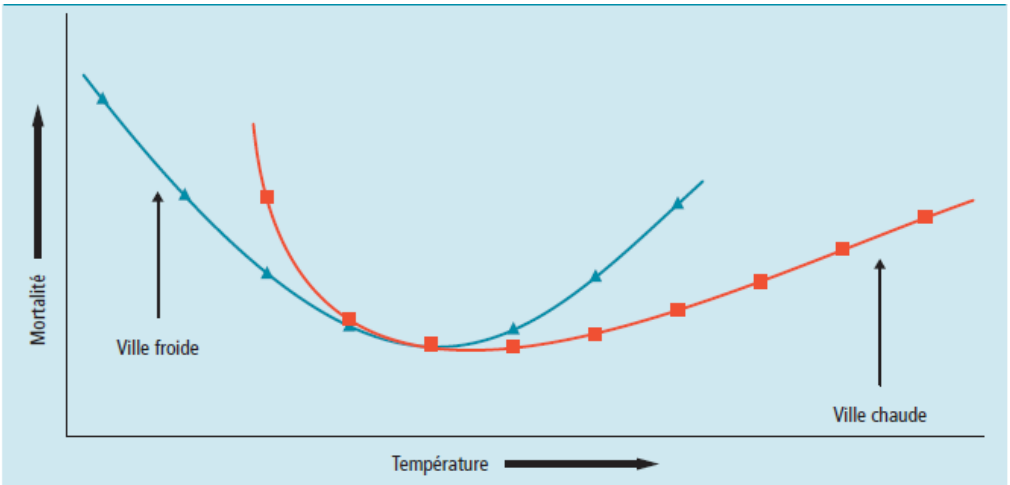
2. Conséquences négatives du changement global sur la santé

Les atteintes à la biodiversité et les changements climatiques impactent négativement la santé humaine et animale. Non seulement les évènements climatiques extrêmes ont des conséquences graves sur la santé, mais on voit aussi l'émergence de nouvelles maladies infectieuses dans des zones qui en était indemnes.

- *Evènements climatiques extrêmes*

Ces dernières années, on voit apparaître de plus en plus souvent des évènements climatiques extrêmes comme des vagues de chaleurs, des tempêtes ou des inondations qui ne sont pas sans conséquences sur la santé et le bien-être des populations. Par exemple, la Russie a fait face en 2010 à une vague de sècheresse et le Pakistan a subit des inondations sans précédent qui ont affectés 18 millions de personnes en 2010 et 2011. Il semblerait que ces phénomènes soient directement liés au réchauffement climatique et le climatologue Martin Beniston les explique de la façon suivante : « Le réchauffement de l'atmosphère dû aux émissions de gaz à effet de serre fournit l'énergie nécessaire au déclenchement de ces évènements »(32).

En ce qui concerne les vagues de froid ou de chaleur, il existe une relation en « U » entre la température et la mortalité journalière (Figure 8). Pour une zone géographique donnée, on observe une zone de confort où la mortalité en fonction de la température est au plus bas. Plus on s'éloigne de cette zone de température optimale, plus la mortalité augmente.



<u>Figure 8 :</u> Schématisation de la relation entre température et mortalité(33)

Cependant il existe des disparités géographiques qui dépendent de la situation de la ville et illustre l'adaptation des individus au climat de la zone étudiée(33).Dans les régions tempérées de l'hémisphère nord, bien que les taux de mortalités soient plus élevés pendant les mois hivernaux que pendant le reste de l'année, les épisodes de chaleur extrême pendant l'été peuvent être associés à des pics de mortalité. Ce fut le cas en 2003 avec un épisode de canicule qui toucha l'Europe occidentale, et fut associé à un pic de mortalité, avec environ 15 000 décès supplémentaires en France entre le 1er et le 20 août 2003(34).

- *Emergence et réémergence de maladies infectieuses*

L'émergence de maladies infectieuses, du fait de l'impact de changements globaux et de la modification des échanges, illustre les interactions entre les modifications de l'environnement dues à l'accroissement de l'entreprise écologique humaine et la propagation d'agents infectieux.

Un projet de recherche européen sur ces maladies émergentes – Emerging Diseases in a changing European eNvironment (EDEN) a sélectionné des maladies plus représentatives de ce phénomène et les a étudiées de manière plus approfondie. Ces maladies ont en commun un lien très fort avec l'environnement et un risque élevé d'émergence ou de réémergence lié aux changements environnementaux. Elles sont présentent dans une région géographique suffisamment étendue et sont représentatives des principaux processus impliqués dans l'émergence des maladies.

Parmi ces maladies on trouve(1) :

– les infections transmises par l'intermédiaire des tiques : ces maladies sont déjà présentes en Europe et leur incidence a significativement augmentée en partie à cause des comportements humains vis-à-vis de l'environnement

- les roboviroses (maladies virales transmises par les rongeurs) : ce sont des maladies répandues en Europe mais sous-déclarées, en relation avec la structure des habitats et des paysages
- la leishmaniose : maladie persistante aux limites méridionales de l'Europe et dans le bassin méditerranéen avec un potentiel d'expansion lié aux changements environnementaux
- la fièvre du Nil Occidental (West Nile Virus) : il s'agit d'une maladie périodique avec des pics locaux sévères en particulier dans l'Europe de l'Est. Elle a montré une forte relation avec les caractéristiques de l'environnement et son potentiel d'expansion est explosif.
- le paludisme : présent aux limites sud et est de l'Europe, son potentiel de réémergence est lié aux changements climatiques et aux activités humaines
- les fièvres africaines, comme la fièvre de la vallée du Rift, non présentes en Europe, peuvent s'y introduire par des animaux migrateurs (comme des oiseaux) qui transportent le virus mais aussi par l'intermédiaire du commerce international. La fièvre due au virus Ebola, qui sévit en Afrique, fait également partie de ces maladies.

Les maladies transmises par les tiques :

Les tiques sont de petits arthropodes très fréquents en Europe. L'espèce la plus souvent rencontrée est *Ixodes ricinus*, c'est un ectoparasite des vertébrés qui se nourrit de leur sang. Se faisant, elles peuvent transmettre de nombreux pathogènes dont le plus fréquent est une bactérie (*Borrelia burgdorferi*) qui est responsable de la maladie de Lyme ou borréliose de Lyme(35), cette maladie serait développée dans la deuxième partie de cette thèse. Les tiques peuvent aussi transmettre la tularémie et la méningoencéphalite à tique.

Les roboviroses :

Les roboviroses désignent les zoonoses d'origines virales transmises par l'intermédiaire des rongeurs. Ces petits mammifères vivent souvent à proximité de l'homme, certains en tant qu'animaux de compagnie, d'autres en tant que nuisibles, et sont le réservoir de nombreuses maladies transmissibles à l'homme. Parmi ces maladies, on trouve les hantaviroses qui sont responsables de fièvres hémorragiques avec des complications rénales ou pulmonaires. Ces maladies seront développées dans la deuxième partie de cette thèse, dédiée aux maladies des rongeurs transmissibles à l'homme.

La leishmaniose

La leishmaniose est une maladie présente dans le sud-est de la France et en Guyane qui touche surtout les chiens et les renards mais peut aussi atteindre l'homme. Le parasite fait partie du genre *Leishmania* dont le vecteur est une mouche du genre *Phlebotomus*. Cet insecte, présent dans le sud de la France, est sensible aux changements climatiques, en particulier à la température, ce qui peut induire des modifications de son aire géographique et

donc de la maladie. De plus la température joue aussi un rôle sur le développement du parasite dans le tube digestif du phlébotome(36). A ce phénomène vient s'ajouter le fait que les chiens sont porteurs de la maladie et lors de voyage transportent avec eux la leishmaniose qui peut se disséminer dans de nouvelles zones géographiques.

La fièvre du Nil Occidental

Cette maladie est due à un virus appelé West Nile Virus (WNV), elle est transmise par des moustiques à l'homme et aux animaux (en particuliers des oiseaux et des chevaux). Chez l'homme, dans la majorité des cas, l'infection est asymptomatique, cependant on peut observer une forte fièvre, avec céphalée, fatigue et malaise, et plus rarement une encéphalopathie ou une méningite(37). Le WNV a été découvert en Ouganda mais il est maintenant endémique en Afrique, en Eurasie, en Amérique et en Australie. En Europe, la première apparition du virus date des années 1960 en Camargue. Depuis on observe régulièrement des percées du WNV(38). La dernière et plus large percée a eu lieu en Italie en 2012, avec 56 cas humains recensés dans la région de la Vénétie(39).

La transmission de cette maladie est liée à différents facteurs environnementaux et climatiques. En effet, les hôtes primaires du virus sont des oiseaux, les moustiques s'infectent en se nourrissant sur les oiseaux et deviennent les vecteurs du virus en particulier auprès des mammifères. Ainsi, la transmission du virus dépend de la présence et des relations entre les différents hôtes et vecteurs. La température et le réchauffement climatique joue un rôle important dans la propagation du virus. Par exemple, en 2010, l'été a été particulièrement chaud dans le Sud-Est de l'Europe, ce qui a permis aux moustiques de proliférer et on a remarqué un pic de cas de WNV. De même, une augmentation des précipitations et de l'humidité sont des conditions favorables au développement des moustiques et à la propagation de la maladie(38).

Le paludisme

Le paludisme est une maladie provoquée par des parasites du genre *Plasmodium* transmise à l'homme par l'intermédiaire de moustiques du genre *Anopheles*. Les manifestations cliniques du paludisme sont très diverses, débutant par une fièvre qui peut s'accompagner de maux de tête, de douleurs musculaires, d'un affaiblissement, de vomissements, de diarrhées, de toux. Les symptômes évoluent en cycles de fièvre et de sueurs froides (accès palustre). La maladie peut être mortelle si elle n'est pas traitée.

Le paludisme touche une centaine de pays dans le monde, particulièrement les zones tropicales défavorisées d'Afrique, d'Asie et d'Amérique Latine. Des épidémies peuvent survenir lors de mouvements de populations peu exposées au paludisme vers des zones hautement endémiques. L'Europe connaît des cas de paludisme dit d'importation(40). En France le nombre de cas de paludisme d'importation a été estimé à environ 3510 en 2012 par l'Institut de Veille Sanitaire (INVS)(41). Bien que le paludisme ne soit pas une maladie endémique en Europe, on recense de rare cas autochtone comme par exemple en Espagne en 2010 où un cas de paludisme a été décrit(42). Ceci montre que nous ne sommes pas à l'abri

d'une modification de l'aire de répartition du paludisme si les conditions devenaient favorables.

Les fièvres africaines

Parmi ces maladies, la fièvre de la vallée du Rift (FVR) inquiète les scientifiques à cause de son expansion au-delà de son foyer d'origine. Cette virose est une zoonose majeure, présente essentiellement sur le continent africain et affectant surtout les ruminants domestiques (et sauvages), par l'intermédiaire de moustiques, avec des conséquences désastreuses sur le cheptel africain. Elle peut aussi toucher l'homme avec des degrés d'atteintes divers. La plupart des personnes entrées en contact avec le virus ne présentent aucun signe clinique ou développent un syndrome pseudogrippal avec fièvre, myalgie sévère, céphalée et arthralgie, qui dure environ quatre jours. Une proportion de personnes infectées développe un tableau clinique plus grave associant une hépatite et un syndrome hémorragique, ou une méningo-encéphalite ou une atteinte oculaire; chacune de ces formes peut conduire à des séquelles graves. Pour la forme hémorragique ou ictéro-hémorragique, la létalité avoisine les 50%.

Il est désormais montré que depuis plusieurs années la FVR s'étend au-delà de son foyer d'origine (la corne de l'Afrique) Ainsi, en 2000, une importante épizootie/épidémie a touché la péninsule arabique (Arabie Saoudite et Yémen). Puis, en 2007, Madagascar, l'archipel des Comores et l'île française de Mayotte ont également connu des épisodes de circulation virale.

Cela s'explique entre autre par le fait que plusieurs espèces de moustiques (principalement des genres *Aedes, Culex, Anopheles*) sont susceptibles de véhiculer le virus de la FVR. Il a par ailleurs été montré que des moustiques présents dans les pays du pourtour méditerranéen (Tunisie et France), sont pleinement compétents pour transmettre le virus de la FVR, ce qui pourrait entrainer une propagation du virus dans de nouvelles zones jusqu'alors épargnées. De plus, il faut prendre en compte l'effet du réchauffement climatique qui favorise l'émergence de maladies infectieuses exotiques. On se retrouve donc avec une maladie susceptible de se développer rapidement dans de nouvelles zones géographiques, si bien que l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) a ainsi listé la FVR parmi les six maladies animales prioritaires dans son rapport de 2005 sur le réchauffement et son impact sur l'évolution des maladies infectieuses animales(43).

Une autre fièvre africaine préoccupe la communauté internationale ces dernier temps, il s'agit de la fièvre hémorragique à virus Ebola. C'est l'une des maladies les plus graves connues chez l'homme dont la létalité peut atteindre 90%.

Depuis le 22 mars 2014, la maladie à virus Ebola est responsable pour la première fois d'une épidémie majeure en Afrique de l'Ouest. Au 31 août 2014, 3685 cas (probables, confirmés et suspects) avec 1841 décès ont été notifiés pour la flambée actuelle de maladie à virus Ebola par les Ministères de la Santé de la Guinée, du Libéria et de la Sierra Leone(44). La maladie s'est également propagée au Nigéria, au Sénégal ainsi qu'en République Démocratique du Congo. Le 30 Septembre 2014, un cas d'importation a été diagnostiqué aux Etats-Unis chez une personne ayant voyagé dans la zone où sévit l'épidémie(45). Ces chiffres alarmants montrent la rapidité de l'expansion de cette épidémie.

Le réservoir naturel du virus Ebola n'a pas encore été formellement identifié mais le virus est capable de se répliquer chez certaines espèces de chauve-souris provenant des régions où le virus est présent. La transmission se fait essentiellement de personne à personne, par contact direct avec le sang et/ou les sécrétions corporelles des sujets ou des animaux malades, ou en manipulant sans précautions des cadavres contaminés, lors de soins médicaux ou des rites funéraires. La transmission peut s'effectuer également par voie sexuelle. La période d'incubation est en moyenne de 8 à 10 jours. Cette maladie est caractérisée par une fièvre d'apparition brutale, avec asthénie intense, accompagnée de myalgies, de céphalées et de douleurs pharyngées. Ces symptômes peuvent être suivis de vomissements, de diarrhées, d'éruptions cutanées, d'une insuffisance rénale et hépatique et, dans certains cas, d'hémorragies internes et externes. Dans les formes hémorragiques, le décès survient dans 80 % des cas en moyenne 8 jours après l'apparition de la fièvre.

Actuellement, il n'existe pas de traitement spécifique ni de vaccin. La prise en charge de l'infection à virus Ebola est basée sur l'isolement des patients et un traitement symptomatique. En l'absence de traitement curatif et de vaccin, la prévention de la transmission interhumaine du virus Ebola passe par des mesures de contrôle adaptées(46) :

- isolement et suivi des personnes susceptibles d'avoir été exposées au virus pendant 21 jours
- port de vêtements protecteurs
- recherche active de cas en communauté

L'étude brève de ces maladies montre que notre santé est intrinsèquement liée aux conditions environnementales et climatiques dans lesquelles nous vivons. Or, ces conditions sont en mouvement perpétuel et le changement s'opère de plus en plus vite, ce qui laisse peu de temps aux organismes pour s'adapter et combattre les nouveaux pathogènes auxquels ils sont confrontés. Cela est d'autant plus inquiétant car l'homme modifie son environnement et est en grande partie la cause de ce changement brutal.

Partie II: Rôle des rongeurs dans l'émergence de maladies infectieuses

Suite à l'impact de ce changement global inédit sur la santé humaine et en particulier les différentes anthropozoonoses, cette thèse rapporte plus particulièrement à celles transmises par les rongeurs à l'homme. En effet, ces animaux anthropophiles sont de plus en plus nombreux à vivre dans, ou à proximité de zones urbaines, proches de l'homme en tant que nuisibles ou animaux de compagnie, ce qui n'est pas sans danger pour nous, car ils peuvent être porteurs de divers pathogènes. De plus, les rongeurs sauvages vivant dans des zones champêtres ou forestières sont sensibles à l'utilisation et à la modification de leur milieu de vie par l'homme. Cela a des conséquences en termes de répartition et de pullulation des espèces, pouvant entraîner une plus grande proximité entre ces mammifères et l'homme.

Après un état des lieux des différentes espèces de rongeurs présentes en France et de l'évolution de leurs populations, nous nous intéresserons aux principales maladies infectieuses portées par les rongeurs et transmissibles à l'homme ainsi que les moyens à notre disposition pour lutter contre ces zoonoses, de façon curative ou préventive.

A. Les rongeurs en France

Les rongeurs représentent actuellement l'un des ordres les plus diversifiés des mammifères. Ils sont répartis sur tous les continents et possèdent des niches écologiques très variées. Leur origine se situe probablement en Asie centrale, les fossiles les plus anciens datant du Paléocène ou Eocène inférieur, c'est-à-dire entre 60 et 55 millions d'années avant notre ère, leur dispersion et leur adaptation aux contraintes de leur environnement fut ensuite très rapide.

Etant donné la richesse de cet ordre, cette étude se concentre sur ceux rencontrés le plus fréquemment en France et présentant un intérêt en termes de transmission de maladies à l'homme. Il s'agit donc des espèces de rongeurs vivant à proximité de l'homme, qu'ils soient anthropophiles, classés comme espèces invasives ou considérés comme des animaux de compagnie.

1. Aperçu de la population de rongeurs en France

Selon la classification de Wilson et Reeder de 2005, la classe des mammifères contient 5416 espèces, reparties en ordres. L'ordre des rongeurs (*Rodentia*) regroupe à lui seul 33 familles, 481 genres et 2277 espèces, soit un peu plus de 40% des mammifères(47).

En France on dénombre 31 espèces de rongeurs à l'état sauvage, réparties en six familles : Sciuridés (4 genres, 4 espèces), Gliridés (3 genres, 3 espèces), Castoridés (1 genre, 1 espèce), Cricétidés (6 genres, 14 espèces), Muridés (4 genres, 8 espèces), Myocastoridés (1 genre, 1 espèce)(48) (figure 9). A la fin des années 1930, la classification de Didier et Rode n'en notaient que vingt. Ainsi sept espèces ont été identifiées depuis (les Mulots à collier et alpestre, les Campagnols amphibie, basque, de Fatio, de Gerbe et de Savi) et quatre espèces ont été introduites en France : les Ecureuils à ventre rouge et de Corée, le Ragondin et le Rat musqué(48). Il est tout à fait envisageable que la faune de France puisse encore s'enrichir dans les prochaines années par la découverte de nouvelles espèces (la présence du Mulot alpestre vient seulement d'être confirmée) ou des lâchers intempestifs de rongeurs exotiques (cas de l'Ecureuil de Sibérie).

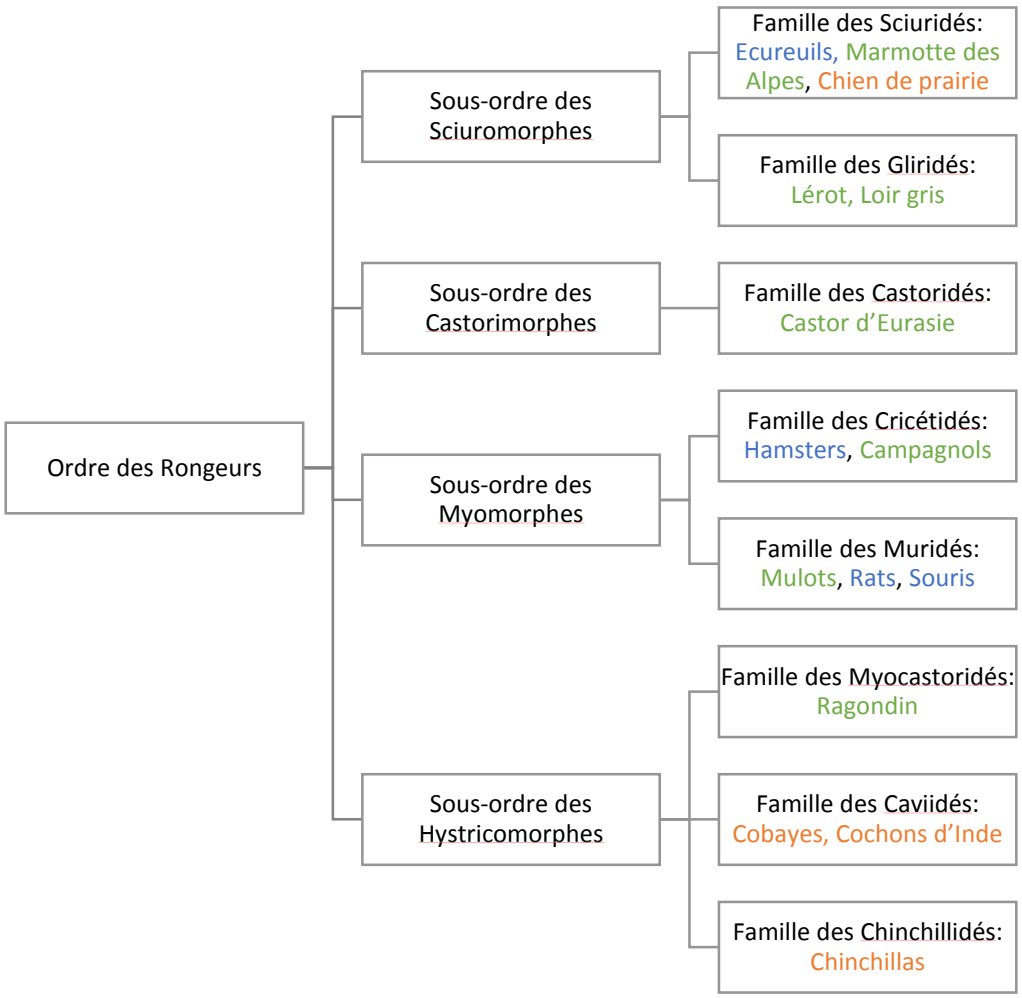


Figure 9 : Classification des rongeurs présents en France

En vert : les espèces présentes à l'état sauvage
En orange : les animaux de compagnie
En bleu : les espèces présentes à la fois à l'état sauvage et comme animaux de compagnie

Bien que la majorité des espèces vivent dans un milieu naturel, que ce soit en bordure des eaux (le castor, le ragondin…), dans les forêts (les écureuils), dans les prairies voire les zones agricoles (les campagnols), certains rongeurs se retrouvent aussi à proximité de l'homme. Ces rongeurs anthropophiles (rats et souris domestique), du fait de leur habitat, échappent aux contraintes environnementales et ont envahi le monde. Ils entretiennent avec l'espèce humaine des contacts étroits, à l'origine de bien des maladies qui concernent aussi bien les citadins que les ruraux. De plus, depuis quelques années, certains rongeurs exotiques sont entrés dans les foyers en tant qu'animaux de compagnie. Cela constitue un risque supplémentaire pour la santé humaine mais aussi pour l'environnement car ces animaux sont parfois abandonnés dans la nature, colonisant ainsi de nouveaux territoires en bousculant les écosystèmes en place.

2. Dynamique des populations : espèces invasives et menacées d'extinction

- *Les espèces invasives*

La population de rongeurs est en équilibre dynamique : certaines espèces prolifèrent tandis que d'autres régressent. De plus, de nouvelles espèces, appelées espèces invasives viennent coloniser le territoire modifiant d'autant plus cet équilibre. L'Invasive Species Specialist Group (ISSG), qui fait partie de l'UICN, dénombre cinq espèces de rongeurs invasives en France(49).

La souris domestique (*Mus musculus domestica*)



Figure 10 : Souris domestique

L'aire d'origine de l'ancêtre commun du complexe d'espèce *Mus musculus* est le sous-continent indien. Migrations et fondations de colonies ont permis leur extension sur les différents continents. A la fin de la Préhistoire (période du néolithique), l'espèce était présente en Israël et son expansion suit probablement les foyers du peuplement humain dans toute l'Europe. Les souris sont des animaux commensaux de l'homme (type d'interaction biologique dans laquelle l'hôte fournit une partie de sa propre nourriture au commensal sans obtenir de contrepartie de ce dernier) : elles se laissent transporter passivement de toutes les façons possibles sur terre comme sur mer, à courte comme à longue distance. La souris domestique a colonisé la France à partir de la Corse et de la région méditerranéenne au milieu du premier millénaire avant J.-C. en utilisant les voies de communication et l'habitat humain.

De nos jours, il existe encore des populations de souris sauvages sur les rives de la Méditerranée et en Corse. Elles exploitent des milieux de vie ouverts, mais on ne note aucun phénomène de pullulation, contrairement à la Californie ou à l'Australie, où les souris sont devenues un véritable fléau. Introduites dans ces régions il y a deux siècles, on y observe des fluctuations d'abondance importants, avec dans les régions céréalières une densité pouvant atteindre 800 individus/hectare(50).

En dehors du pourtour méditerranéen, cette espèce est strictement commensale, c'est-à-dire, liée à l'homme, aussi bien pour son habitat que pour sa nourriture. Elle occupe toutes les formes de l'habitat humain, des immeubles des grandes agglomérations jusqu'aux refuges d'altitude, mais aussi les exploitations agricoles où les densités peuvent être importantes(48). L'espèce est combattue non seulement à cause des denrées détruites ou rendues inutilisables, mais aussi à cause de la gêne occasionnée et des maladies qu'elle peut transmettre.

Le rat noir (*Rattus rattus*)



Figure 11 : Rat noir

Originaire de la péninsule indienne, il aurait atteint les rivages orientaux de la Méditerranée au cours du troisième millénaire avant J.-C. L'occupation de la France est beaucoup plus tardive : entre le quatrième et le second siècle avant J.-C. Ce n'est qu'à la suite de l'essor démographique principalement urbain du début du deuxième millénaire et probablement une période d'adaptation que le rat noir connaît une forte expansion. La distribution géographique de l'espèce se serait étendue à toute l'Europe au cours du Moyen-Age (XII^{e} et XII^{e} siècles).

Le rat noir est arboricole, on le retrouve aujourd'hui dans les entrepôts et les combles ainsi que sur les navires.

Il fut le « rat pesteux » du Moyen-Age. Depuis les progrès de l'hygiène, l'emploi des raticides, le développement des constructions en béton, et du fait de la compétition avec le rat surmulot arrivé au XVIII^{e} siècle, sa présence se fait plus discrète en Europe occidentale, bien qu'il puisse être localement abondant(48).

Le rat surmulot (*Rattus norvegicus*)



Figure 12 : Rat surmulot

Aussi appelé rat d'égout ou rat brun, le rat surmulot se rencontre dans toute la France. Colonisateur récent, il, est originaire des steppes du Sud-Est de la Sibérie (Mongolie) et du Nord de la Chine. A la fin du XVIII^{e} siècle, il atteint le Kazakhstan puis la Volga. Il semble qu'à la suite d'échanges commerciaux, un noyau de peuplement occupait déjà le delta du Danube et a pu coloniser de proche en proche toute l'Europe de l'Ouest (Danemark, 1716 ; France, 1750) au cours de ce même siècle.

Le rat surmulot est aussi un commensal de l'homme dont il colonise les habitations. Bien que moins fréquent depuis l'ère du béton, on le trouve encore dans les caves, les réseaux d'égouts, les entrepôts et les exploitations agricoles. Une forme albinos de l'espèce est utilisée comme rat de laboratoire.

Il peut avoir un comportement agressif, s'attaquant à des porcelets ou des agneaux voire à l'homme. A New York, par exemple, plus de 500 personnes étaient mordues par an dans les années 1960 et plus que 200 dans le début des années 1980. Ces morsures concernaient en majorité des « sans domicile fixe » mais les jeunes enfants ne sont pas à l'abri des attaques. Ce comportement agressif fait souvent reculer les prédateurs, ce qui laisse le champ libre à l'espèce pour se multiplier. L'homme a donc dû se préoccuper des pullulations de rats et cherche à les détruire, d'autant plus qu'ils causent des dégâts dans les stocks de denrées et sont porteurs de maladies.

Le ragondin (*Myocastor coypus*)



Figure 13 : Ragondin

Originaire d'Amérique du Sud, seul représentant de la famille des Myocastoridés, le ragondin a été introduit en Europe dans les fermes d'élevage, pour l'utilisation de sa fourrure en pelleterie. Cette espèce a été signalée pour la première fois en France en 1882 en Indre-et-Loire. De nombreux élevages s'installèrent à partir de cette date et disparurent pour la plupart durant la première guerre mondiale. Bien entendu, les animaux furent relâchés ou s'échappèrent et, trouvant à l'extérieur des conditions voisines de leur pays d'origine, s'établirent dans la nature. La colonisation, pendant longtemps peu marquée, prit son extension à la fin des années 1970, après une période d'adaptation de près d'un demi-siècle(48).

Ce gros rongeur (environ 5 kg en moyenne) semi-aquatique, fréquente les eaux calmes (rivières et marais) à berges pourvues d'une végétation importante. Il n'a pas de prédateur naturel en France hormis les chiens et parfois la loutre, ce qui a permis une colonisation importante de l'espèce et causé des nuisances de différents types.

Le premier impact de la présence de ragondins en France a lieu sur la végétation (naturelle ou cultivée). Cet animal herbivore détruit la végétation des berges induisant des perturbations dans l'équilibre des écosystèmes en place. Ces lieux servent de site de reproduction pour certaines espèces d'oiseaux(51). D'autre part le poids des animaux et les galeries qu'ils creusent endommagent les berges qui s'affaissent. Enfin, il faut noter la transmission de maladies parasitaires, comme la leptospirose. Une étude a montré qu'en France la prévalence chez les ragondins varie de 16 à 66%, cette espèce joue donc un rôle important dans la transmission de cette maladie aux animaux de compagnie et à l'homme(52).

Classé comme « gibier », d'après le législation française, la destruction du ragondin par un moyen chimique est interdite, mais le tir et le piégeage sont autorisés à condition que l'espèce soit classée comme nuisible au niveau départemental(48).

L'écureuil de Sibérie (*Tamia sibiricus*)



Figure 14 : Ecureuil de Sibérie

Plus communément appelé écureuil de Corée, en relation avec le pays d'où ont été importés les premiers individus, ce «nouvel animal de compagnie» (NAC) est vendu dans les animaleries depuis la fin des années 1960 en Europe. Échappé de captivité, introduit volontairement en tant qu'animal d'ornement, ou plus généralement relâché dans la nature par des propriétaires lassés de sa compagnie, il constitue actuellement 22 populations installées en Europe dont 11 en France, dans les régions Île-de-France et Picardie(53). Ce rongeur, dont l'aire de répartition originelle s'étend de l'Est de la Finlande au détroit de Béring et en Asie orientale, s'est rapidement adapté à son nouvel environnement en Europe. Une des plus importantes populations, localisée dans la Forêt de Sénart, compte entre 10 000 et 20 000 individus(54).

En France, l'écureuil de Corée semble avoir un impact limité sur les écosystèmes forestiers, pour l'instant. Il n'est pas en compétition avec l'écureuil roux autochtone et ne cause pas de dégât, contrairement à ce qui se passe sur son aire d'origine (destruction de céréales)(48). Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, des études ont montré que ce rongeur est un hôte privilégié de la bactérie responsable de la maladie de Lyme, ce qui favorise la contamination de l'homme et la propagation de cette maladie.

- *Les espèces invasives à nos frontières*

Trois espèces invasives présentes dans des pays frontaliers de la France pourraient accéder à notre territoire.

La première de ces espèces est l'Ecureuil gris (*Sciurus carolinensis*). Absent pour le moment de France, ce dernier a envahi toute l'Angleterre après plusieurs introductions entre 1876 et 1929 en provenance d'Amérique du Nord. Cette espèce est aussi en expansion en Italie suite à des lâchers dans la région de Turin en 1948. Il n'est pas exclu qu'il puisse un jour franchir la Manche et/ou les Alpes. De plus cette espèce a entrainé la raréfaction de l'Ecureuil roux (*Sciurus vulgaris*). Plusieurs hypothèses sont actuellement avancées pour expliquer ce phénomène (diminution du succès de reproduction, mortalité due à un parapoxivirus porté par *S. carolinensis*).

Une autre de ces espèces invasives à nos frontières est l'Ecureuil de Finnlayson. Originaire d'Asie du Sud-Est, on le retrouve maintenant en Italie, où il s'est parfaitement adapté à son environnement.

Enfin le Castor canadien (*Castor canadensis*) introduit en Finlande en 1937 et sur le Danube, en Autriche entre 1976 et 1990, prospère à nos frontières. Aujourd'hui les populations de castors d'Allemagne, de Belgique et du Luxembourg sont composés de Castors d'Eurasie et canadien, sans que l'on connaisse les proportions des deux espèces.

- *Une espèce menacée d'extinction*

D'autre part, certaines espèces de rongeurs sont menacées d'extinction. En France l'espèce la plus menacée est le Grand Hamster (*Cricetus cricetus*) qui en classé « en danger » sur la Liste Rouge des espèces menacées de l'UICN(55). Ce grade est le deuxième niveau sur les trois que comporte la liste, à savoir : « en danger critique d'extinction », « en danger » et « vulnérable ».



Figure 15 : Grand Hamster

Présent autrefois dans toute la plaine d'Alsace, le Grand Hamster n'est plus trouvé aujourd'hui que dans une dizaine de communes de la région. L'espèce est inféodée aux milieux de cultures de basse altitude. Le développement des cultures de printemps (maïs notamment) au détriment de cultures d'hiver (blé, orge) ou pluriannuelles (luzerne) qui sont le milieu naturel de vie de l'espèce est à l'origine de la fragmentation et de la forte régression de son aire de répartition. Autrefois chassé pour sa fourrure et classé comme espèce nuisible, à cause des préjudices portés aux cultures, le Grand hamster bénéficie aujourd'hui d'une protection réglementaire par des directives nationales et européennes. Avec une à deux portées de sept petits par an, des programmes de réintroduction ont été mis en place pour tenter de reconstituer des populations sauvages(48).

3. Les types d'habitats des rongeurs et les risques pour l'homme

Qu'ils mènent une vie citadine ou rurale, l'homme peut être amené à croiser des rongeurs. En effet, ces mammifères sont présents sur tout le territoire français, quel que soit ses spécificités géographiques ou climatiques et la densité de population. Cependant le risque pour la santé n'est pas identique dans les différents foyers de peuplement des rongeurs.

- *Foyers sauvages*

On retrouve les populations de rongeurs sauvages dans les prairies (campagnols), les forêts (écureuils et mulots) ou au bord des rivières (ragondins), suivant les préférences des espèces. Les réservoirs et vecteurs éventuels de maladies sont donc essentiellement à distance de l'homme. Le contact se fait par intrusion de l'homme dans le cycle de l'affection (risque d'échinococcose alvéolaire via la consommation d'aliments souillés ou de maladie de Lyme par l'intermédiaire des tiques) ou par intrusion du rongeurs sauvage chez l'homme (par exemple : eau de baignade contaminée par l'urine de rongeurs : risque de leptospirose). L'exposition de l'homme à ces maladies est faible étant donné qu'il est peu en contact avec ce type de rongeurs. Cependant, on observe chez les rongeurs prairiaux et forestiers, d'importantes fluctuations pluriannuelles d'abondance, pouvant se traduire par de véritables

pullulations en particulier chez les campagnols. Cela augmente les possibilités de contact avec l'homme, et par conséquent les risques d'apparition de maladies chez les agriculteurs, les travailleurs forestiers, les chasseurs mais aussi les promeneurs(48).

- *Foyers synanthropiques*

La synanthropie est définie comme un type particulier de relation liant certains animaux non domestiques avec les humains à proximité desquels ils vivent. C'est une forme particulière de commensalisme, dirigée vers l'homme. Parmi les animaux synanthropes on retrouve des rongeurs (rats et souris domestique), mais aussi les blattes ou les termites.

En Europe occidentale, les peuplements urbains de rongeurs commensaux sont généralement peu diversifiés et principalement composés de trois espèces, le rat surmulot, la souris domestique et le rat noir. Du fait de leur habitat, ils échappent aux contraintes environnementales et développent des populations florissantes. Ils entretiennent donc des contacts étroits avec l'espèce humaine, à l'origine de maladies qui concernent aussi bien les citadins que les ruraux.

Leurs milieux de répartition varient selon les préférences des espèces. On peut les trouver dans les caves, les égouts ou les greniers selon leurs préférences ou encore dans des zones en friches ou en voie d'urbanisation. Dans ce dernier cas les espèces commensales peuvent y croiser des espèces sauvages (des campagnols par exemple), ce qui représente un risque de dispersion de pathogène plus important. Ces zones sont aussi fréquentées par des chiens en promenade ou en vagabondage, il peut s'y créer un foyer de maladies canine ou de zoonose. Ce risque est important dans le cadre des maladies des tiques, lors de leurs premiers stades de développement ces parasites sont hébergés par les rongeurs sur lesquels ils s'infectent, avant de trouver un hôte plus gros (un chien par exemple) pour continuer leur développement vers le stade adulte où ils peuvent parasiter et infecter l'homme(48). Le contrôle de ces espèces vectrices de nombreuses maladies transmissibles à l'homme constitue donc un enjeu sanitaire majeur.

- *Les rongeurs animaux de compagnie*

L'engouement pour les Nouveaux Animaux de Compagnie (NAC) est un phénomène en pleine expansion. Cette appellation date de 1984 et désigne tous les animaux de compagnie autres que les chiens et les chats. Les NAC rassemblent donc de nombreuses espèces dont les poissons, les oiseaux, les reptiles mais aussi les rongeurs (hamsters, rats, souris et gerbilles). En France le nombre d'animaux de compagnie s'élève à environ 59 millions et près de 20% des propriétaires possèdent un NAC(56).

Alors que les propriétaires de chiens ou de chats attendent une véritable reconnaissance de la part de leurs animaux, l'attente concernant les NAC est totalement différente. Parmi les raisons, extrêmement variées, invoquées pour expliquer l'acquisition d'un NAC, on trouve :

- le côté « pratique », certains NAC occupant peu d'espace (souris, poissons...) ;
- l'originalité, particulièrement pour les reptiles ;

- l'éducation de l'enfant car, souvent, le petit mammifère (hamster, cobaye, rat ou souris) est son animal ;
- le « coup de cœur », notamment pour les petits mammifères, l'acquisition correspond à un achat d'impulsion à faible coût ;
- l'excitation du danger car une partie de la population semble fascinée par le danger que représente certaines espèces (félins, reptiles…).

Concernant les rongeurs, les espèces considérées comme animaux domestiques par la loi française sont les suivantes(57) :

- les races domestiques de la souris (*Mus musculus*) ;
- les races domestiques du rat (*Rattus norvegicus*) ;
- les races domestiques du hamster (*Mesocricetus auratus*) ;
- les races domestiques de la gerbille (*Meriones unguiculatus*).
- les races domestiques du chinchilla (*Chinchilla lanigera x Chinchilla brevicaudata*).
- le cochon d'Inde (*Cavia porcellus*)

Par conséquent, les races de hamsters nains (russes, chinois, roborovskii…), les autres espèces de gerbilles comme les gerbilles à queue grasse ou la petite gerbille du Sahara, les autres espèces de souris comme la souris rayée d'Afrique ou la souris épineuse, toutes les espèces d'écureuils au sens large (écureuil de Corée, écureuil volant…), ou encore le chien de prairie ne sont pas considérées comme des animaux domestiques.

Les NAC et en particuliers les rongeurs peuvent exposer leur propriétaires mais aussi l'environnement à plusieurs types de risques.

Tout d'abord concernant les propriétaires, les rongeurs peuvent représenter un danger sanitaire car ils sont porteurs de différentes zoonoses plus ou moins exotiques, voire même de phénomène d'allergie. Parmi les infections transmissibles à l'homme, on trouve :

- des maladies d'inoculation suite à des griffures ou morsures (tétanos et sodoku)
- des infections digestives bactériennes (salmonellose, campylobactériose) ou parasitaires (ténia)
- des infections cutanées (dermatophytose)
- des infections systémiques (grippe, leptospirose et toxocarose)(58)

D'autres maladies, plus rares, ont été décrites chez les propriétaires de NAC, comme des infections au virus Cowpox, transmises par des rats, par exemple(59). Les rongeurs entraînent aussi des allergies qui se manifestent sous forme de rhinites, conjonctivites ou d'asthme per-annuel. Il existe des phénomènes d'allergie croisée entre le rat et la souris(58).

L'autre type de risque lié aux NAC a pour cause l'engouement autour de ces animaux. Cela entraîne la raréfaction des animaux dans leur milieu naturel, alors que certains sont en voie d'extinction.

L’un des plus connu est le chinchilla. Il existe deux espèces sauvages : le chinchilla à longue queue (*Chinchilla lanigera*) et le chinchilla à queue courte (*Chinchilla brevicaudata*), toutes deux protégées alors que le chinchilla royal a disparu. L’espèce domestique de chinchilla est un hybride (*Chinchilla lanigera x Chinchilla brevicaudata).* D’autre part, le fait que certaines espèces se raréfient leur attribue une plus grande valeur monétaire et la demande s’accroit, menaçant d’autant plus ces espèces.

Enfin, ces espèces représentent un danger à cause du risque de marronnage (phénomène par lequel des animaux domestiques relâchés ou échappés forment des populations vivant partiellement ou totalement à l'état sauvage) et d’invasion. En effet, les introductions humaines, volontaires ou accidentelles, d’animaux exotiques dans les écosystèmes autochtones représentent un danger pour la biodiversité, car ces animaux se retrouvent dans un milieu auquel ils ne sont pas adaptés et s’ils survivent, cela se fait au détriment des espèces déjà présentent(58).

B. Les maladies et risques sanitaires liés aux rongeurs

D'après la définition de l'OMS(60), les zoonoses sont des maladies ou infections naturellement transmissibles de l'animal à l'homme et vice versa.

La notion de transmissibilité naturelle exclue tout autre processus pathologique tel que les envenimations, les manifestations allergiques, ou encore les intoxications et/ou intoxinations transmises accidentellement par les denrées alimentaires provenant d'animaux indemnes mais contaminés par des êtres vivants porteurs de pathogènes.

La réversibilité des zoonoses doit être comprise au sens large : elle est réelle ou potentielle. Une zoonose transmise à l'homme par un animal est appelée anthropozoonose, dans le cas inverse on parle de zooanthroponose(61).

Plus de 200 zoonoses ont été décrites et elles sont connues depuis plusieurs siècles. Elles sont causées par tous les types d'agents: bactéries, parasites, champignons, virus et autres agents non conventionnels (comme les prions par exemple). Tout ceci constitue une grave menace pour la santé et le bien-être de la population mondiale. Malgré les progrès réalisés dans la lutte contre les maladies, ces dernières restent fréquentes dans les zones urbaines, péri-urbaines et rurales des pays en voie de développement.

1. Les différentes voies de contamination

Comme pour toutes les maladies infectieuses, différentes voies de contaminations sont possibles pour les zoonoses(48):

- Par passage direct lors d'un contact avec un rongeur infecté ou ses déjections, l'agent pathogène peut passer par voie cutanéomuqueuse à travers une peau saine ou lésée. L'infection peut aussi se propager à travers une peau macérée par un contact prolongé avec de l'eau contaminée par des urines ou des fèces d'animaux malades. C'est le cas de la leptospirose, par exemple). L'autre possibilité est une contamination suite à une morsure (sodoku).
- Par ingestion de l'agent pathogène, soit en consommant des aliments souillés (salmonellose, échinococcose), soit par voie respiratoire en manipulant des cadavres d'animaux ou des éléments du milieu souillés par des urines ou des fèces. Cela provoque la mise en aérosol de certains agents pathogènes (fièvres hémorragiques, fièvre du Queensland).
- Par l'intermédiaire d'un vecteur de la maladie (agent de transport d'un pathogène, d'un individu qui en est la source, à d'autres individus qui peuvent leur être réceptifs). Souvent, le vecteur est un arthropode, la contamination peut se faire soit par ingestion accidentelle (Ténia nain dont le vecteur est le ver de farine), soit par piqûre (peste transmise par la puce et maladies transmises par les tiques). Dans ce cas le rongeur est un réservoir, facultatif ou obligatoire, de la maladie.

La notion de réservoir désigne le système écologique (être vivant ou substrat) qui héberge un agent pathogène, lui permettant de survivre dans la nature et pouvant le transmettre à un vecteur ou un autre réservoir. Le réservoir peut être le vecteur ou ils peuvent être distincts l'un de l'autre(62). On parle de réservoir facultatif lorsqu'il n'est pas indispensable à la survie de l'agent pathogène et de réservoir obligatoire lorsque le cycle de transmission s'arrête s'il disparaît.

2. Une zoonose fungique : la dermatophytose

La dermatophytose est une maladie de la peau très contagieuse, transmise par contact direct avec des animaux infectés ou à partir d'objets contaminés. Les rongeurs concernés sont en général les rongeurs de compagnie, qui peuvent être porteurs de *Trichophyton mentagrophytes* et *Microsporum persicolor*(63).

Les signes observés chez les rongeurs sont une alopécie souvent circulaire, de l'érythème et des croûtes avec prurit modéré. Le traitement des animaux repose sur des antifongiques administrés par voie locale ou orale, on peut utiliser de la griséofulvine ou du kétoconazole et appliquer des solutions de diméthylsulfoxide (DMSO) localement(63). Sans traitement les lésions peuvent se surinfecter. La manipulation des animaux infectés doit être limitée, le soigneur doit porter des gants et avoir une hygiène rigoureuse pour éviter de se contaminer.

Chez l'homme on observe un herpès circiné qui se manifeste sous la forme de lésions papulo-squameuses, sèches, sous forme de cercles rouges érythémateux, ou une teigne qui est une atteinte du cuir chevelu avec une alopécie circulaire. Les enfants sont particulièrement sensibles aux dermatophytes. Ces lésions cutanées sont parfois rencontrées chez des adolescentes au niveau du cou, lieu de séjour du rat de compagnie(64). Le traitement consiste à couper les cheveux en cas de teigne, à appliquer localement une pommade antifongique (à base d'éconazole par exemple) et à associer un traitement antifongique par voie orale. Le traitement des animaux infectés (local et systémique avec des antifongiques) et de l'environnement (aspiration, nettoyage et désinfection) est absolument indispensable(58).

3. Les zoonoses parasitaires

Deux types de parasites sont retrouvés dans ces infections : des parasites externes (insectes, tiques) et des parasites internes (des parasites du tubes digestifs le plus souvent).

- *Les parasites externes*

Les rongeurs peuvent être parasités par des acariens comme la tique (*Ixodes ricinus*). Ce parasite hématophage se développe en se nourrissant sur des mammifères de plus en plus gros au fil de son développement. Ainsi aux stades de larve et de nymphe, les tiques se nourrissent sur de petits mammifères comme les rongeurs, les chats ou les chiens et la tique adulte se

retrouve sur des bovins ou l'homme. Dans les premiers stades de son développement, la tique peut contracter un agent pathogène chez son hôte et transmet alors des maladies aux hôtes suivants. C'est par exemple le cas de la maladie de Lyme. Parmi les rongeurs porteurs de ce parasite, on retrouve souvent des animaux à l'état sauvage comme le Ragondin ou l'Ecureuil de Sibérie, qui le transmettent directement à l'homme lors d'une promenade par exemple, ou par l'intermédiaire d'un animal de compagnie, un chien par exemple qui s'infeste en promenade et transmet ensuite le parasite à l'homme.

Les rongeurs peuvent aussi être parasités par des insectes comme la puce ou le pou. Les poux des rats sont relativement spécifiques et n'infestent pas l'homme. A contrario, les puces peuvent infester l'homme et transmettre des maladies. Elles sont notamment vectrices de vers et de *Yersinia pestis*, le bacille responsable de la peste(63).

- *Les parasites internes*

De nombreux parasites internes peuvent infester les rongeurs. On retrouve des parasites eucaryotes unicellulaires (*Gardia duodenum, Cryptosporidium sp.*), mais aussi des plathelmintes, trématodes (*Fasciola hepatica*) ou cestodes (*Hymenolepis nana, Echinococcus multiocaris*).

Les eucaryotes unicellulaires :

Parmi les eucaryotes unicellulaires qui parasitent les rongeurs on trouve *Cryptosporidium sp*, responsable de la cryptosporidiose ainsi que *Giardia duodenum* et *G. muris*, responsables de la giardiose. Ces deux eucaryotes parasitent les cellules intestinales, il y a peu de symptômes chez les rongeurs. La contamination se fait par voie oro-fécale.

Chez l'homme l'infection peut passer inaperçue ou se traduire par des troubles digestifs, sauf chez les personnes immunodéprimées chez qui les manifestations sont plus graves(63).

Les rongeurs font également partie des nombreux hôtes intermédiaires de *Toxoplasma gondii*, protozoaire responsable de la toxoplasmose. L'hôte définitif est le chat qui se contamine en mangeant un rongeur. La contamination de l'homme se fait par consommation d'aliments souillés par des fèces de chat contaminé, ou par consommation de viande mal cuite, d'ovin notamment.

La maladie clinique est rare mais la séroprévalence en Europe est de 50 à 80%. Lors d'atteinte, chez l'homme comme chez l'animal, la toxoplasmose se manifeste par un syndrome grippal pouvant évoquer une mononucléose infectieuse, on peut observer des troubles neurologiques plus graves (léthargie, paralysie faciale, hémiplégie, modifications des réflexes voire coma). Les individus immunodéprimés manifestent des encéphalites, des pneumopathies et des rétinites. Lors d'une infection d'une femme enceinte, le parasite passe la barrière placentaire, atteignant le fœtus, entraînant des atteintes neurologiques relativement graves.

Les rongeurs sont également les reservoirs potentiels de maladies plus rares comme la maladie de Chagas ou la leishmaniose par *Leishmania major*.

Un trématode : la grande douve du foie (*Fasciola hepatica*) :

Ce parasite des ruminants domestiques a récemment été retrouvé chez le Ragondin, avec une prévalence pouvant atteindre 56%, et chez le Rat noirs en Corse(48). Chez ce dernier, le parasite est mature et produit des œufs, le cycle est donc viable chez les rongeurs et cela pourrait augmenter la contamination de l'homme.

Les œufs sont éliminés dans les fèces et souillent l'environnement, ils se développent en larve qui parasite la Limnée, un gastéropode aquatique d'eau douce puis les larves matures (métacercaires) se retrouvent dans l'environnement où elles sont consommées par l'hôte définitif (un bovin) chez qui elles deviennent adultes. L'homme peut se contaminer au stade métacercaire en consommant des végétaux infestés (mâche, cresson) récoltés dans des zones non contrôlées, cela entraine des atteintes hépatiques.

Les cestodes :

Les Souris domestiques et les rats hébergent deux espèces de ténias : *Hymenolepis nana* (le Ténia nain) et *Hymenolepis diminuta*. Leurs cycles peut passer par un hôte intermédiaire qui est un coléoptère (souvent le ver de farine) ou être direct avec émissions d'œufs dans les fèces de l'hôte et auto-infestation ou infestation directe d'un autre hôte définitif. On observe peu de symptômes chez les rongeurs (diarrhées, perte de poids). Chez l'homme, on peut avoir des troubles nerveux et des douleurs abdominales avec diarrhées. En cas d'infestation massive on observe une anorexie, nausées et diarrhées. Des cas mortels par occlusion intestinale ont été décrits(63). Ce sont surtout les enfants qui sont sensibles à ces infestations. La prophylaxie passe par la vermifugation des animaux et des enfants en contact avec les animaux.

Un autre cestode retrouvé chez les rongeurs est le Ténia échinocoque (*Echinococcus multilocaris*). Les œufs sont expulsés dans les fèces de l'hôte définitif (le Renard Roux ou le Chien) et sont ingérés par des rongeurs (Campagnols, Mulots….). Les œufs se développent en larves jusqu'à ce que le petit mammifère soit consommé par un carnivore chez qui le parasite devient adulte. L'homme est une impasse parasitaire, il s'infeste par contact avec un animal parasité ou par consommation de végétaux crus souillés. Le parasite provoque des atteintes hépatiques, avec fibrose voire nécrose (en 2005, 324 cas humains ont été recensés, dont 40% en Franche-Comté(48)).

La distribution de cette parasitose était traditionnellement limitée aux régions froides et humides de l'hémisphère nord, elle concerne maintenant l'ensemble de l'Europe non-méditerranéenne. En France elle occupe le quart nord-est, mais s'étend vers l'ouest. On constate une augmentation générale de la prévalence chez le Renard Roux, ce qui en fait une maladie potentiellement émergente. D'autre part depuis quelques années on observe une présence accrue de renards dans les territoires urbanisés: dans des villes comme Zurich, Genève, Copenhague, Stuttgart et Nancy, le parasite est clairement identifié et tous les

paramètres pour l'implantation du cycle sont présents .En particulier, la présence dans les parcs de rongeurs comme le Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris*) rend possible l'établissement du cycle parasitaire. À Nancy, on observe un gradient d'infestation des renards décroissant de la périphérie vers le centre-ville et les prévalences observées restent faibles avec 4-5% des renards positifs sur l'agglomération pour une prévalence observée en périphérie rurale de 54%(65).

4. Les anthropozoonoses bactériennes

Les rongeurs sont porteurs de nombreuses infections bactériennes. La plus connue, car elle est la plus mortifère, est la peste, qui fit des ravages au cours de l'Histoire de l'humanité. De nos jours cette maladie n'est plus présente en France mais d'autres maladies comme la borréliose de Lyme, la leptospirose ou encore les infections bactériennes dues à des morsures ne doivent pas être négligées en raison de leur potentielle gravité et de leur prévalence élevée chez les rongeurs.

- *La peste*

La peste est avant tout une maladie des rongeurs, transmise accidentellement à l'homme. C'est une maladie épidémique aigüe, fébrile et mortelle si elle n'est pas traitée rapidement. Elle est due à un bacille gram négatif : *Yersinia pestis*. Cette bactérie a été identifiée par Alexandre Yersin lors de la troisième pandémie de peste.

Le réservoir de cette maladie s'étend sur de vastes territoires et est constitué principalement de rongeurs sauvages et anthropophiles (rats). Ils contractent la maladie par des piqûres de puces (*Xenophsylla cheopsis* et *Pulex irritans*, essentiellement). Après la mort des rongeurs infectés, les puces cherchent un nouvel hôte, un autre rongeur ou l'homme, qui a son tour contracte l'infection. La peste peut aussi se transmette d'homme à homme par voie aérienne à partir d'un malade atteint de peste pulmonaire. Lors de la toux, le bacille dispersé par aérosols (gouttelettes de Pflügge) est inhalé par les sujets contacts et colonise directement leurs poumons(66).

Chez l'homme il existe trois formes de peste :

- <u>La peste bubonique :</u> il s'agit la forme clinique la plus fréquente de la peste humaine survenant suite à une piqûre de puce infectée, par inoculation sous-cutanée du bacille. En quelques jours un « bubon » apparait (tuméfaction dure, lisse de petite taille et douloureuse). Il est accompagné d'une fièvre élevée, d'une altération de l'état général avec céphalées et vomissements. Dans 30%, des cas les défenses immunitaires du malade permettent de contenir l'infection. Le bubon fait abcès et suppure, le malade guérit après un laps de temps souvent assez long. Dans les 70 % restants des cas, la bactérie dissémine par voie lymphatique et sanguine vers la rate, le foie, éventuellement les poumons, et provoque une septicémie mortelle(66).

- La peste septicémique : cette forme se présente sans bubon ou manifestation pulmonaire et emporte le malade rapidement avec uniquement des symptômes généraux nerveux. C'est une infection progressive et foudroyante du système sanguin, la bactérie se réplique rapidement au niveau sanguin et provoque une réaction immunologique en cascade liée à une endotoxine bactérienne. On observe une réponse de l'hôte avec des manifestations pathologiques comme une coagulopathie intravasculaire disséminée (CID), une insuffisance de multiples organes (IMO) et le syndrome de détresse respiratoire de l'adulte (SDRA)(62). Cette forme est mortelle sans traitement.
- La peste pulmonaire : cette forme est la plus grave et résulte d'une colonisation des poumons par *Yersinia pestis* suite à une peste bubonique ou d'une contamination par voie aérienne directe. L'incubation est très courte (quelques heures à un ou deux jours) et les signes cliniques sont d'emblée très violents (fièvre à 40-41°C, altération profonde de l'état général, douleurs thoraciques, toux avec expectorations sanglantes, détresse respiratoire, coma). L'évolution est mortelle en trois jours en l'absence d'une antibiothérapie précoce et adaptée(66).

Les chances de survie d'un malade atteint de peste sont directement liées à la précocité de la mise en œuvre d'une antibiothérapie efficace. *Y. pestis* est généralement sensible aux antibiotiques actifs contre les bactéries à Gram négatif. Le traitement préconisé par l'OMS repose sur trois antibiotiques qui peuvent être administrés en monothérapie ou en association, en fonction du terrain et de l'intensité des symptômes: la streptomycine (1 g/12 h par voie intramusculaire chez l'adulte) pendant les premiers jours de la maladie, relayée par des sulfamides ou des tétracyclines per os lorsque l'état du malade s'améliore. Pour les formes méningées on utilise les tétracyclines (0,5 g/6 h per os) et le chloramphénicol administrés d'abord par voie intraveineuse (5 mg/kg puis 50 mg/kg en 4 injections), puis par voie orale(67).

La prophylaxie sanitaire de la peste comprend de nombreuses mesures, variables en fonction du statut du pays (indemne ou infecté), et d'échelon individuel ou collectif. Les principales mesures consistent en une dératisation et une désinsectisation puisque, dans la plupart des cas, l'origine de la peste humaine est murine et la transmission due aux puces. Il existe aussi un protocole d'antibioprophylaxie pour les personnes qui ont été exposées à la peste. On utilise un sulfamide par voie orale en dose unique ou en prise quotidienne pendant une semaine (sulfathiazol). Le cotrimoxazole, les tétracyclines (doxycycline) sont également recommandées en traitement prophylactique.

Trois grandes pandémies de peste historiquement bien documentées se sont déroulées depuis le début de l'ère chrétienne. La première pandémie, appelée « peste de Justinien » ravagea le pourtour méditerranéen du VI^{e} au VIII^{e} siècle. La seconde pandémie, venue d'Asie centrale, toucha l'Europe au XIV^{e} siècle et détruisit plus du quart de sa population entre 1348 et 1352. Cette fameuse peste noire pénétra assez profondément dans le continent européen et y persista sous forme de vagues épidémiques pendant plus de trois siècles. Considérée à l'époque comme une punition divine, elle eut un impact majeur sur le développement socio-

économique, la culture, l'art, la religion et la politique(67). La troisième pandémie partit de Chine en 1894 et fut mondiale. Elle s'implanta de façon durable dans des pays qui n'avaient pas été touchés auparavant comme l'Amérique du Nord en 1899 et du Sud, Afrique du Sud en 1900 et Madagascar. L'épidémie arrivait dans tous les pays, à partir d'un port d'entrée et gagna les territoires adjacents. Elle fit 13 millions de morts en Inde entre 1898 et 1948(62).

La peste persiste chez les rongeurs sous forme enzootique (zoonose circonscrite à une région donnée) dans l'Ouest des Etats-Unis, le Nord du Brésil, à Madagascar, en Afrique centrale et de l'Est, en Asie centrale et du Sud-Est et d'autres rongeurs commensaux participent à son cycle sauvage.

Aucun cas de peste n'a été signalé récemment en Europe. En France, la peste a disparu depuis 1945 et la dernière épidémie, qui a touché une centaine de personnes, est survenue à Paris en 1920 (peste des chiffonniers). Cependant cette maladie n'a pas été éradiquée et des foyers humains persistent encore : près de 44 000 cas humains ont été déclarés à l'OMS ces vingt dernières années(67). Depuis le début des années 1990, on observe la résurgence de foyers de peste silencieux pendant des décennies et que l'on croyait définitivement éteints. Cela a été en particulier le cas en Inde où la peste est réapparue en 1994 après 30 ans de silence sous la forme d'une épidémie de peste pulmonaire qui a paralysé la vie économique du pays pendant plusieurs semaines, totalisant plus de 6 000 cas suspects. Plus récemment, en 2003, la peste est réapparue en Algérie, dans la région d'Oran, alors que les derniers cas dataient de 1945 (tableau 1). Ces évènements font de la peste une maladie ré-émergente.

Pays	Derniers cas	Nouvelle épidémie	Durée de silence
Mahajanga (Madagascar)	1928	1991	63 ans
Inde	1964	1994	30 ans
Mozambique	1978	1994	16 ans
Zambie	1954	1997	43 ans
Jordanie	≈1915	1997	>80 ans
Algérie	1946	2003	57 ans
Lybie	1984	2009	25 ans

<u>Tableau I :</u> Réémergence récente de la peste dans des foyers que l'on croyait définitivement éteints(67)

D'autre part, le bacille de la peste peut être utilisé comme arme de guerre biologique. En 1348, les Tartares l'ont utilisé pour la première fois lors du siège de Caffa en projetant les cadavres infestés de la peste par-dessus le mur des assiégés. Plus tard, durant la guerre froide, les armées américaine et russe s'intéressèrent également à l'utilisation de ce bacille. Entre 1970 et 1990, des centres spécialisés en URSS ont ainsi développé des méthodes pour

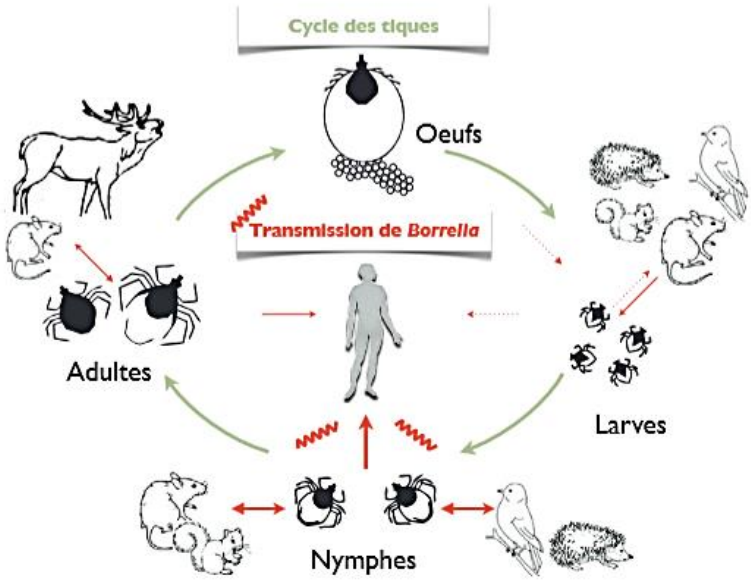
aérosoliser la bactérie sans altérer sa survie, afin de l'inclure à des bombes portées par des missiles intercontinentaux(67).

Le bacille de la peste fait partie désormais de la liste des agents pathogènes les plus susceptibles d'être utilisés pour une arme biologique considérée comme une arme de destruction massive potentielle, au même titre que des armes nucléaires, radiologiques ou même chimiques.

- *La maladie de Lyme ou borréliose de Lyme*

La borréliose de Lyme est l'anthropozoonose la plus fréquente de l'hémisphère nord. Elle est due à des spirochètes du genre *Borrelia*, transmise par piqûre de tique du genre *Ixodes* (principalement *Ixodes ricinus*). La maladie fut décrite dès 1909 en Suède, mais le germe n'a été identifié qu'en 1975 dans le comté de Lyme aux Etats-Unis. Il y a peu d'études sur l'incidence de cette maladie, mais on note une recrudescence du nombre de cas de borréliose en Europe et en Amérique du nord. Aux Etats-Unis, le nombre de personnes infectées a doublé entre 1992 et 2006(68).

Les tiques sont de petits acariens qui se développent en parasitant des mammifères ou des oiseaux, ils se fixent sur leur peau et se nourrissent de leur sang. Au stade de larve et de nymphe, les tiques parasitent de petits animaux (rongeurs, oiseaux), c'est à ces stades que les tiques se contaminent en ingérant les bactéries présentent dans le système sanguin de leurs hôtes. Au stade adulte, on les retrouve sur de gros mammifères (bovins, cervidés) ou sur l'homme (figure 16)(69). Les chiens et les chats peuvent aussi être parasités par des tiques. La bactérie semble n'être transmise de la tique à son hôte que 48 heures après la fixation, le retrait de la tique avant la fin de ce délai réduit considérablement le risque d'infection.



<u>Figure 16 :</u> Cycle de développement des tiques et de la transmission de la maladie de Lyme(69)

Des études confirment le rôle principal joué par les différentes espèces de mulots et de campagnols et surtout l'écureuil de Corée dans le cycle de transmission de la maladie(48). Comparativement aux animaux autochtones (mulots et campagnols), les écureuils de Sibérie sont deux fois plus infestés par les tiques et portent beaucoup plus d'espèces de bactéries (jusqu'à trois espèces différentes contre une chez le campagnol). Ce sont donc des réservoirs privilégiés en forêt suburbaine pour cette maladie, qui peut alors se transmettre plus facilement à l'homme(54). A cela vient s'ajouter les conséquences de la déforestation qui pousse les animaux porteurs de tiques à se rapprocher des zones urbaines, ainsi que les hivers plus doux qui prolongent la durée d'activité des insectes(68)

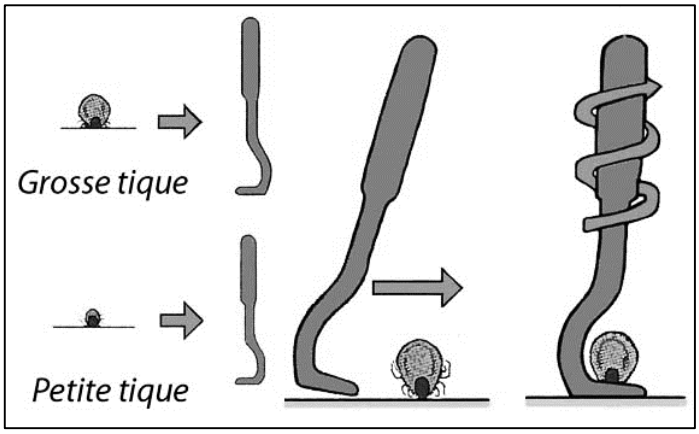
Chez l'animal, très peu de cas sont réellement documentés, l'infection est le plus souvent asymptomatique.

Chez l'Homme, la borréliose de Lyme évolue en trois phases(61) :

- La phase primaire est essentiellement caractérisée par l'érythème chronique migrant (ECM) qui apparaît entre quelques jours et quelques semaines après la morsure de tique. Il se traduit par une aréole rouge dont le diamètre s'agrandit de façon centrifuge. L'ECM n'est pas prurigineux et une adénopathie satellite traduit la dissémination du germe. En dehors d'un traitement adapté, l'ECM disparaît en 3 à 5 semaines sans séquelle, cependant, chez certains patients se développe une phase secondaire.
- La phase secondaire peut parfois être le révélateur d'un ECM passé inaperçu, quelques semaines ou mois auparavant. Les symptômes sont variables. On peut observer des manifestations articulaires (arthralgies précoces et fréquentes évoluant par poussées, vers des atteintes des grosses articulations), des manifestations cardiaques (bloc auriculo ventriculaire), des manifestations neurologiques (méningo-radiculite sensitive, atteinte motrices périphériques, atteinte des nerfs crâniens entraînant une paralysie hémifaciale), des atteintes méningées et plus rarement des atteintes centrales. Une forte asthénie peut se développer au cours de cette phase.
- La phase tertiaire, très invalidante, se développe des mois ou des années après l'accès primaire. Elle entraîne des manifestations cutanées graves évoluant vers l'atrophie (Maladie de Pick-Herxheimer). On observe aussi un lymphocytome cutané bénin, siégeant en général au niveau du lobe de l'oreille. Cette phase se traduit également par des manifestations articulaires douloureuses mais non inflammatoires et des manifestations neurologiques.

Le traitement a pour objectif essentiel d'éviter l'évolution de l'ECM vers les phases secondaire ou tertiaire, par utilisation des bétalactamines ou d'une tétracycline. En cas d'ECM simple, on utilise de l'amoxicilline (3 à 4 g/jour) ou de la doxycycline (200 mg/j) pendant 10 jours. Si l'on constate une diffusion septicémique, on double la dose et la durée du traitement par amoxicilline ou on utilise de la ceftriaxone (2 à 4 g/jour) pendant 20 jours. Lors de la phase tertiaire, la ceftriaxone est utilisé pendant plus d'un mois(61).

Les mesures de prophylaxie consistent, dans un premier temps, à éviter les piqûres de tiques par le port de vêtements longs et fermés. Dans un second temps, après la promenade, il est conseillé d'effectuer un examen du corps et du cuir chevelu pour repérer et retirer précocement toute tique. En cas de morsure de tique, il est préconisé de la retirer avec un tire-tique (figure 17) ou une pince à épiler fine puis de désinfecter la morsure. L'application préalable d'éther ou d'un autre produit chimique doit être proscrite car cela provoque la régurgitation de la tique et la libération de *Borrelia*. Une petite zone d'érythème peut apparaitre autour de la piqûre immédiatement ou dans les 24 premières heures après la morsure. Il s'agit d'une réaction aux composés salivaires de la tique qui ne doit pas être confondue avec un ECM, dont la durée minimale d'incubation est de 3 jours.



<u>Figure 17 :</u> Retrait d'une tique avec un tire-tique(70)

L'antibioprophylaxie ne doit pas être prescrite systématiquement mais peut être envisagée si la personne atteinte est immunodéprimée ou si la durée d'attachement de la tique est supérieure à 48-72 heures, ou encore si la tique gorgée de sang au moment du retrait. On peut aussi discuter d'une antibioprophylaxie chez une femme enceinte ou un enfant de moins de 8 ans. L'antibioprophylaxie doit être prescrite dans les 3 jours suivant le retrait de la tique. On utilise de la doxycycline ou de l'amoxicilline en cas de contre-indication (femme enceinte et enfant de moins de 8 ans)(71).

- *La leptospirose*

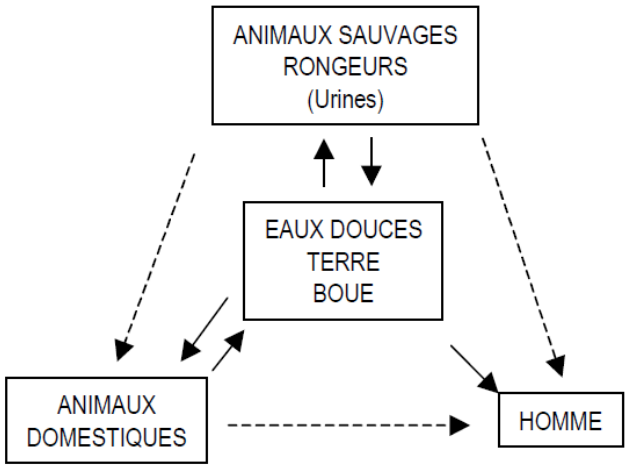
La leptospirose est une infection potentiellement mortelle. Cette maladie est présente dans le monde entier, en particulier en Asie, en Afrique et en Amérique latine et touche principalement les pays à climat tropical. En France, l'incidence reste faible avec 300 à 400 cas recensés chaque année, même si ces chiffres nous place en tête des pays européens. Les régions les plus touchées sont l'Ile de France, la Franche Comté, les Pays de la Loire et l'Aquitaine avec une période à risque de juin à octobre(72).

La leptospirose est due à des bactéries du genre *Leptospira*. Les souches sont extrêmement nombreuses, réparties en 23 sérogroupes, eux-mêmes subdivisés en plus de 220 sérovars, tous

potentiellement pathogènes pour l'homme. Ces bactéries sont hébergées par de nombreuses espèces de mammifères sauvages ou domestiques (rongeurs, chiens, bovins, chevaux, porcins). La bactérie se situe en général dans leurs reins et est excrétée dans les urines. Chez les rongeurs, en particulier le ragondin, le rat surmulot et le rat noir, la prévalence de la leptospirose est de 44%, cependant elle varie avec les espèces et les lieux, pouvant dépasser les 60%(52,73). Une fois excrétées, les leptospires sont particulièrement résistants dans l'environnement et survivent dans l'eau ou les sols boueux tant que les conditions de pH et de température sont favorables. Par exemple, le serovar *hebdomadis* peut survivre trois mois et demi à la surface d'un sol marécageux dont le pH est compris entre 7,5 et 7,8(61).

Chez les réservoirs, on peut observer un portage asymptomatique (c'est le cas des rongeurs), ou au contraire l'apparition de symptômes.

La transmission à l'homme se fait par voie transcutanée ou à travers une muqueuse, de façon directe, suite à la manipulation d'un animal infecté, ou de façon indirecte, par l'eau (baignade dans une rivière ou un étang souillé) ou par manipulation de terre ou de boue souillées (figure 17). Il s'agit le plus souvent d'une zoonose professionnelle qui touche des personnes en contact avec les animaux ou des produits souillés (vétérinaires, éleveurs, pisciculteurs, égoutiers, éboueurs). Il peut aussi s'agir d'une zoonose de loisir (pêche, baignade…).



<u>Figure 18 :</u> Transmission de la leptospirose(61)

Chez l'homme, les formes cliniques sont très variables, tant au niveau des signes dont aucun n'est spécifique, qu'au niveau de la gravité, allant des formes paucisymptomatiques n'entraînant pas de consultation médicale aux formes pseudo grippales et aux formes létales. Après une incubation de 5 à 15 jours, on observe un début brutal avec forte fièvre et syndrome pseudo grippal puis suivant le serovar impliqué l'état de santé du malade peut s'améliorer jusqu'à la guérison ou s'aggraver. Plusieurs tableaux cliniques sont possibles(61) :

- un syndrome méningé avec céphalées, raideurs de la nuque et vomissements
- un ictère avec atteinte fonctionnelle importante, pouvant être létale

- un syndrome rénal (insuffisance rénale aigue)
- une hémorragie pulmonaire avec syndrome de détresse respiratoire.

Le traitement repose sur une antibiothérapie par pénicillines (amoxicilline, ampicilline ou ceftriaxone dans les cas graves) ou cyclines (doxycycline ou minocycline) en cas d'allergie aux pénicillines(62). Suivant la gravité de la maladie, le traitement est administré par voie orale ou veineuse. On associe à l'antibiothérapie un traitement symptomatologique.

Un vaccin contre la leptospirose a été mis sur le marché en 1979, suite à la demande des égoutiers de la ville de Paris: le Spirolept®. Il est composé d'une suspension de *Leptospira Icterohaemorrhagiae* inactivée par du formol dans un volume de 1 mL. Ainsi la protection n'est que contre les leptospiroses dues au sérogroupe *icterohaemorrhagiae*, potentiellement le plus grave et responsable au total du tiers des infections en métropole et Outre-Mer. La primovaccination est constituée de deux injections à quinze jours d'intervalle. Un premier rappel a lieu quatre à six mois après la primovaccination et par la suite, les rappels sont effectués tous les deux ans(72).

La vaccination est proposée au cas par cas par le médecin du travail, en fonction du type d'activité et donc du risque de contamination, après une évaluation individualisée prenant en compte les critères suivants :

- existence de cas documentés dans la même activité,
- existence de mesures de protection collective et/ou individuelle sur le lieu de travail,
- prédisposition individuelle qui tend à majorer le risque d'exposition et/ou sa sensibilité à la maladie.
- exercice d'une activité professionnelle exposant au risque de contacts fréquents avec des lieux infestés par les rongeurs notamment *rattus norvegicus* (entretien de canaux, étangs, voies navigables, berges, activités professionnelles en eaux douces, postes exposés des stations d'épuration)

En prophylaxie pré-exposition, il est possible d'utiliser la doxycycline à 200 mg/semaine. L'efficacité préventive varie de 95 à 54 %. En zone d'endémie, cette prophylaxie ne modifie pas l'incidence de la maladie mais elle en réduit le taux d'attaque, la morbidité et la mortalité(72).

- *Les salmonelloses*

Il s'agit d'un terme collectif désignant des infections humaines et animales dues à des entérobactéries du genre *Salmonella*. Les rats, essentiellement le Rat surmulot et la Souris domestique, sont communément infectés par *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* et *Enterica*. La maladie peut être transmise à l'homme par la contamination des aliments à partir des fèces des rongeurs. Cependant la cause majeure de salmonellose chez l'homme est la consommation d'aliments provenant d'animaux contaminés (œufs, produits carnés) et/ou

conservés dans de mauvaises conditions. La maladie se traduit par une gastro-entérite aigue avec douleurs abdominales et fièvre(48).

- *La pseudo-tuberculose*

La pseudo-tuberculose est une zoonose due à *Yersinia pseudotuberculosis* ou bacille de Malassez et Vignal. *Y. pseudotuberculosis* est rencontrée dans le monde entier, chez de nombreuses espèces animales, tout spécialement les rongeurs et les lagomorphes. L'Europe occidentale et centrale représente actuellement le grand foyer homogène et actif d'infection animale et humaine à bacille de Malassez et Vignal(61).

Chez les rongeurs, le portage latent est très fréquent cependant ils peuvent développer la maladie qui se traduit alors par un amaigrissement progressif aboutissant à la mort en quelques semaines. L'Homme se contamine par ingestion d'aliments souillés ou par une mauvaise hygiène des mains. La maladie se traduit par une septicémie ictérique, typhoïdique avec une adénite mésentérique chez l'enfant pouvant être confondue avec une appendicite en raison des douleurs dans la fosse iliaque droite, des vomissements et de la fièvre. L'appendicectomie, souvent réalisée à cause du syndrome appendiculaire, suffit pour entraîner une guérison définitive mais le traitement de choix est une antibiothérapie notamment la streptomycine(63).

- *Les infections bactériennes transmises par morsures*

Plusieurs bactéries pathogènes peuvent être transmises à l'homme par la salive lors de morsures de rongeurs, en particulier les fièvres par morsures de rat (« rat bite fever » en anglais) : le sodoku et la streptobacillose, mais aussi d'autres bactéries moins spécifiques des rongeurs comme celles responsables de la tularémie, de la pasteurellose.

<u>Le sodoku :</u>

Le sodoku est une infection du rat due à *Spirillum* minus. On la rencontre surtout au Japon, d'où sa dénomination qui vient du japonais : « so » (le rat) et « doku » (le poison), et elle est exceptionnellement observée en France(61). Les rats sont des porteurs sains de cette maladie. Elle peut aussi être transmise par les souris, voire plus rarement par d'autres rongeurs (un cas a été décrit suite à une morsure de gerbille)(74).

Chez l'homme la maladie apparait suite à une morsure ou une griffure. Après une longue incubation (généralement deux à trois semaines, pouvant aller jusqu'à deux mois) les premiers signes apparaissent : la plaie cicatrisée devient douloureuse et se tuméfie. Cette lésion s'accompagne rapidement d'une atteinte ganglionnaire avec un cordon de lymphangite. La lésion locale ne suppure jamais, elle peut rétrocéder ou présenter une phlyctène centrale, puis une escarre et une ulcération. Les signes généraux se manifestent 12 à 48 heures après le début du chancre, on observe des frissons avec hyperthermie à 39° ou 40°C, sueurs, tachycardie, céphalée. En deux ou trois jours, la fièvre tombe, même sans traitement spécifique, les signes locaux s'atténuent. Sans traitement, des épisodes fébriles identiques vont se succéder tous les trois à sept jours, pendant plusieurs mois. Une éruption cutanée,

spécifique du sodoku, apparaît deux à trois semaines après la morsure, lors des accès fébriles(62).

Sous antibiothérapie la guérison est rapide et définitive. Le traitement repose sur la pénicilline G pendant 10 jours. On utilise la tétracycline chez les patients allergiques à la pénicilline.

La streptobacillose :

Cette maladie, aussi appelée fièvre d'Haverhill, est due à *Streptobacillus moniliformis.* Cette bactérie est un commensal habituel de la cavité buccopharyngée et des fosses nasales du rat. On la retrouve aussi chez les souris. La prévalence chez ces rongeurs commensaux est variable, pouvant atteindre 65%(48).

Chez l'homme, la septicémie à *S. moniliformis* fait généralement suite à une morsure de rat. Contrairement au sodoku, l'incubation est courte (entre un et cinq jours). On observe une fièvre brutale à 40°C. Les algies sont diffuses, une fatigue générale se manifeste. La période d'état est caractérisée par un syndrome d'infection générale accompagné de signes cutanés (érythème localisé le plus souvent aux faces d'extension des membres), de symptômes articulaires douloureux et de manifestations pharyngo-laryngées. Le traitement repose sur l'utilisation de pénicilline ou de streptomycine(61).

La tularémie :

La tularémie est une maladie infectieuse, limitée à l'hémisphère nord, due à *Francisella tularensis,* pouvant affecter l'homme. Le réservoir est représenté par des petits mammifères : les rongeurs (campagnols, mulots, écureuils, rats musqués) et surtout par les lagomorphes (lièvres). Cependant, près de 250 espèces mammifères peuvent être porteuses asymptomatiques de la maladie (sangliers, renards, animaux de compagnie). La bactérie est transmise entre les mammifères par des insectes et arthropodes : tiques, moustiques, puces, punaises, poux et taons. Ces insectes vecteurs de la maladie sont responsables de la persistance de l'infection animale(75).

En France, l'homme se contamine surtout à partir du lièvre. *Francisella tularensis* traversant même la peau saine (la simple manipulation d'un lièvre malade ou de son cadavre suffit pour assurer la contamination). D'autres modalités de contamination sont possible comme l'absorption d'eaux polluées, les piqures de tiques (surtout aux Etats-Unis), une morsure ou encore l'inhalation de la bactérie lors de la manipulation de cadavres d'animaux. Cette maladie est une zoonose professionnelle, touchant les personnes en contact avec les animaux, mais aussi une zoonose de loisir (chasse).

L'incubation est courte (4 jours en moyenne). On observe des accès brutaux de fièvre avec douleurs, céphalées et vomissements. L'évolution des symptômes dépend du mode d'entrée de la bactérie. La forme ulcéroganglionaire est la plus fréquente (80% des cas) et est due à une contamination par inoculation de l'agent infectieux suite à une égratignure, une érosion cutanée minime ou à une piqûre de vecteur. À partir d'une lésion cutanée, la bactérie gagne par voie lymphatique le ganglion qui draine le territoire et s'y multiplie. Une adénopathie régionale apparaît avec évolution vers une abcédation, fistulisation et sclérose. Si la

contamination a eu lieu au travers d'une peau saine, on a une tularémie ganglionnaire, similaire à la forme précédente sans la lésion cutanée. En cas de contamination par frottement des paupières avec des mains contaminées, on observe une tularémie occuloganglionnaire avec la formation d'un nodule ou d'une lésion ulcéreuse au niveau de la paupière inférieure. Il existe aussi des formes oropharyngée et pulmonaire en cas d'ingestion ou d'inhalation de la bactérie(75). Les antibiotiques actifs sur cette bactérie sont la streptomycine et les tétracyclines(61).

La prophylaxie de la tularémie passe par l'information des chasseurs et professionnels exposés, ainsi que par le port de gants pour manipuler les cadavres d'animaux. Il existe un vaccin contre cette maladie mais il n'est pas utilisé en France en raison de la faible fréquence de la tularémie(61).

La pasteurellose:

D'autres bactéries pathogènes, moins fréquentes chez les rongeurs, peuvent être transmises suite à une morsure. C'est par exemple le cas de la pasteurellose, due à une bactérie du genre *Pasteurella*. Le plus souvent, elle est transmise à l'homme par une morsure de chien ou de chat, plus rarement par une morsure de rongeur. Cette maladie entraîne des signes locaux au niveau de la plaie qui devient rouge et œdémateuse, puis on peut observer une atteinte de l'état général (septicémie). Le traitement repose sur l'utilisation de cyclines (doxycycline, minocycline). On utilise des bêta-lactamines (ampicilline ou céphalosporines de 2ème et 3ème génération) dans les infections généralisées(61).

Le tétanos :

Enfin, comme pour toute plaie, il existe un risque de contracter le tétanos suite à une morsure de rongeur. La bactérie pathogène, *Clostridium tetani,* s'entretient et prolifère dans le milieu extérieur au bénéfice d'un cycle silencieux, entéro-tellurique. Elle peut concerner l'homme et toutes les espèces animales. La contamination se fait à l'occasion d'une effraction cutanée ou muqueuse (à travers une plaie par exemple) et entraîne une paralysie progressive, mortelle, d'où l'importance de se vacciner contre cette maladie(61).

- *Les infections à rickettsie*

Deux infections dues à des bactéries du genre *Rickettsia* : la fièvre Q (ou « Query fever » en anglais (query=point d'interrogation), appelée également fièvre du Queensland) et le typhus murin.

La fièvre Q :

La fièvre Q est une zoonose causée par une bactérie Gram négative intracellulaire stricte, *Coxiella burnetii*, responsable de manifestations cliniques aiguës et chroniques très variées

La fièvre Q est une zoonose ubiquitaire dans le monde. De multiples épidémies ont été rapportées en Europe, notamment dans le sud de la France, aux Pays-Bas, en Grande-Bretagne et en Suisse (tableau II).

Epidémies	Nombre de cas
Val de Bagnes (Suisse), 1983	415
West Midlands (Angleterre), 1989	147
Briançon (France), 1996	29
Drôme (France), 2000	10
Chamonix (France), juin 2003	92
Hollande, 2007-2011	> 4000
Lavaux (Suisse), 2012	14

Tableau II : Quelques épidémies de fièvre Q documentées en Europe durant ces 30 dernières années(76)

L'homme est un hôte accidentel, le réservoir animal étant vaste et comprenant les mammifères domestiques (bovins, ovins, caprins, chiens, chats) et sauvages (renards, rongeurs), ainsi que les oiseaux. Les arthropodes (tiques) et les amibes peuvent également être infectés. Le plus souvent asymptomatique chez l'animal, l'infection peut toutefois se réactiver lors de la gestation, entraînant souvent des avortements. Chez l'homme, le mode majeur de transmission résulte de l'inhalation d'aérosols contaminés. La bactérie peut être propagée par le vent, si bien que des individus peuvent présenter la maladie sans qu'aucun contact direct avec un animal ne soit rapporté.

La période d'incubation de la fièvre Q aiguë est comprise entre dix et dix-sept jours. Environ 60% des personnes infectées restent asymptomatiques, tandis que 40% d'entre elles vont développer une symptomatologie de fièvre Q aiguë, dont la présentation clinique peut être polymorphe. La majorité des personnes infectées présente un syndrome pseudo-grippal, d'évolution spontanément favorable, alors que 2% développent une pneumopathie ou une hépatopathie. Plus rarement, on observe des formes chroniques de fièvre Q sous forme d'endocardite (figure 18).

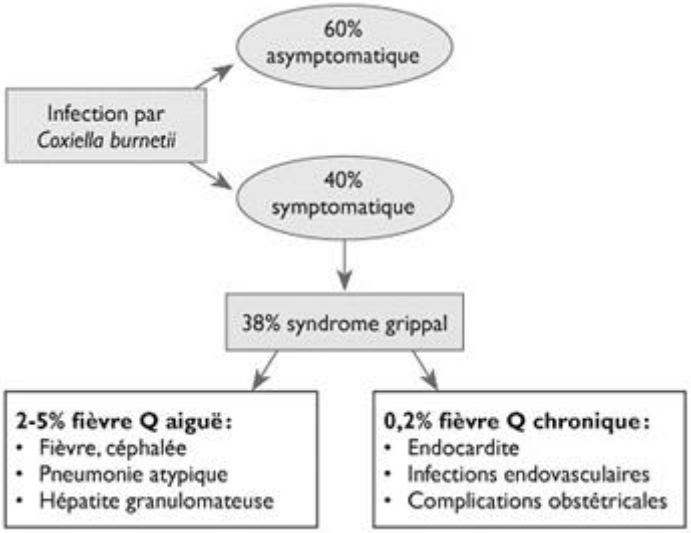


Figure 19 : Histoire naturelle de la fièvre Q(76)

Le traitement de référence est la doxycycline, à la posologie de 200 mg/jour. Le cotrimoxazole doit être utilisé en cas d'allergie ou de contre-indications(76).

Le typhus murin :

Cette infection, due à *Rickettsia mooseri* ou à *Ricketssia typhi*, est transmise par l'intermédiaire de la puce (principalement *Xenopsylla cheopsis*) aux rongeurs commensaux (*Rattus norvegicus* et *R. rattus)* et à l'homme. Les bactéries sont excrétées dans les excréments de puces et la contamination se fait lors de la piqure par effraction cutanée.

Après une incubation de 6 à 14 jours, on observe chez l'homme une fièvre avec des céphalées et des douleurs. Quelques jours après, apparaît une éruption maculeuse du tronc et des extrémités ainsi que de la toux et des vomissements. Le traitement passe par l'utilisation de tétracyclines (doxycycline ou minocycline)(63).

5. Les roboviroses

Le terme de roboviroses est relativement récent, il désigne des infections virales transmises par les rongeurs. Il provient de l'anglais « robovirus », contraction du terme « rodent borne virus », désignant les virus portés par les rongeurs, par analogie avec les « arthropod borne virus » ou « arbovirus » qui sont les virus vectorisés par les arthropodes (ex : le virus de la dengue dont le vecteur est un moustique). Ces roboviroses sont surveillées car leur incidence est étroitement liée aux conditions environnementales des milieux de vie des rongeurs (des épidémies peuvent apparaître suite à une pullulation de rongeurs).

- *La chorioméningite lymphocytaire*

La chorioméningite lymphocytaires (CML) est une maladie virale causée par un virus du groupe des arénavirus. Parmi les arénavirus, on trouve aussi des virus responsables de fièvres hémorragiques comme le virus Lassa responsable de la fièvre hémorragique de Lassa au Nigéria, Liberia et en Sierra Leone, ou encore le virus Junin responsable de fièvres hémorragiques en Argentine (tableau III). Le seul représentant de cette famille en Europe est le virus de la CML.

Virus	Disease	Year discovered
Lymphocytic choriomeningitis virus (LCMV)	Lymphocytic choriomeningitis	1933
Junin virus	Argentine hemorrhagic fever	1958
Machupo virus	Bolivian hemorrhagic fever	1963
Lassa virus	Lassa fever	1969
Guanarito virus	Venezuelan hemorrhagic fever	1989
Sabia	Brazilian hemorrhagic fever	1993
Chapare	Chapare hemorrhagic fever	2004
Lujo	Lujo hemorrhagic fever	2008

Tableau III : Arenavirus pathogènes pour l'homme(77)

Le réservoir de cette maladie est la Souris domestique chez laquelle il peut franchir la barrière placentaire et infecter les souriceaux, mais d'autres rongeurs peuvent être atteints (cobayes, hamsters). Chez les rongeurs, l'infection est le plus souvent totalement inapparente, elle peut parfois s'extérioriser par des manifestations nerveuses ou pulmonaires, rarement mortelles.

Le mode de transmission de l'infection du rongeur à l'Homme est mal élucidé, mais on sait aujourd'hui que chez les animaux infectés, le virus est excrété en grande quantité dans les sécrétions nasales, la salive, le lait, la semence, les fèces, et surtout l'urine. L'infection est persistante chez la souris mais à durée limitée chez l'Homme ou d'autres animaux. La contamination peut être directe, par contact de liquides organiques infectés avec des muqueuses ou des lésions cutanées, ou indirecte, par inhalation d'aérosols de poussières contaminées ou ingestion d'aliments contaminés(62).

Chez l'homme l'infection est asymptomatique dans un tiers des cas. Dans les cas symptomatiques, c'est en général une maladie bénigne. Après une incubation de 7 à 14 jours, on observe un état grippal souvent sévère, avec une pharyngite. La fièvre est généralement accompagnée de nausées, asthénie et parfois d'arthralgies ou de migraine. Ce syndrome évolue spontanément vers la guérison en quelques jours, mais il peut s'aggraver et provoquer une méningite caractérisée par une raideur de la nuque, des céphalées, des malaises et des douleurs musculaires. Pour les cas les plus graves, une méningoencéphalite se déclare et peut être à l'origine de graves séquelles neurologiques parfois définitives comme une surdité ou une hydrocéphalie pouvant aboutir à la mort dans de rares cas.

Le traitement de cette infection est uniquement symptomatique, il n'existe pas de traitement antiviral spécifique.

Si cette pathologie atteint une femme enceinte, elle peut avoir une incidence sur une grossesse et mettre en jeu le pronostic vital du fœtus. En effet, si la mère transmet le virus à son enfant lors du premier trimestre de la grossesse, cela provoque un avortement spontané. Si l'infection a lieu après le deuxième trimestre, alors, dans 88% des cas, on observe des malformations sévères du système nerveux central (calcifications intracrâniennes, hydrocéphalie et choriorétinite). La mortalité est estimée à 28% au cours de la première année et si l'enfant survit, il gardera de nombreuses séquelles graves (retard mental, trouble de la croissance et de la motricité, baisse de l'acuité visuelle)(62).

- *Les hantaviroses : la fièvre hémorragique avec syndrome rénal*

Les hantaviroses regroupent les fièvres hémorragiques virales dues aux virus du genre Hantavirus, ayant tous un réservoir animal appartenant à l'ordre des rongeurs. A l'heure actuelle, on dénombre plus de seize virus différents, chacun ayant une espèce réservoir spécifique(61,78) (tableau IV).

Il existe plusieurs formes d'hantaviroses. En France on observe le plus souvent une forme bégnine de la fièvre hémorragique avec syndrome rénal (FHSR), causée par le virus Puumala, dont le réservoir est le Campagnol roussâtre. Les virus Tula et Seoul sont aussi présents sur le territoire(48). Certains hantavirus, présents sur le continent américain, peuvent entrainer un syndrôme pulmonaire à hantavirus, il s'agit d'une fièvre hémorragique avec des complications pulmonaires.

Virus	Reservoir	Maladie
Puumala	Campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*)	FHSR (bégnine)
Dobrava	Mulot à collier (*Apodemus flavicollis*)	FHSR (sévère)
Saaremaa	Mulot des champs (*Apodemus agrarius*)	FHSR (bégnine)
Tula	Campagnol *(Microtus arvalis*)	Pas de maladie associée
Seoul	Rats (*Rattus norvegicus, Rattus rattus*)	FHSR

Tableau IV : Hantavirus présents en Europe(78)

Le réservoir naturel des hantavirus est constitué par des rongeurs sauvages qui excrètent le virus dans ses urines (pendant toute leur vie), les fèces et la salive. La contamination humaine se fait principalement par inhalation d'aérosols. On a observé des épidémies d'hantaviroses suite à des modifications de l'environnement (déforestation, changements dans les cultures agricoles) qui ont conduit à des pullulations de rongeurs. Ce fut le cas au Venezuela et en Argentine(48). La reconnaissance de cas autochtones en France en 1982 a attiré l'attention sur cette maladie dans notre pays, en particulier dans les Ardennes où elle sévit sous forme de

flambées épidémiques environ tous les trois ans (1982, 1985, 1990, 1991, 1993, 1996, 1999, 2003, 2005…). A la fin de l'année 2004, une augmentation notable de la densité des campagnols a été observée. Cette flambée a été suivie par une augmentation exceptionnelle et simultanée du nombre de cas de FHSR en France, en Belgique, au Luxembourg, en Allemagne et en Suède dès le printemps 2005. En France, les 109 cas déclarés se sont manifestés essentiellement dans les Ardennes, dans l'Aisne, mais aussi le Jura, zones qui avait rarement été signalées comme infectées jusqu'alors(61).

Le virus est très virulent chez l'homme, selon la souche, on observe la fièvre hémorragique, un syndrome de détresse respiratoire de l'adulte, un syndrome grippal avec céphalée, lombalgie, thrombopénie, insuffisance rénale aiguë (avec protéinurie et oligurie) voire des troubles de la vision. La guérison est spontanée et généralement sans séquelle. Ces symptômes apparaissent après une incubation de 2 à 3 semaines en moyenne et selon plusieurs étapes.

Le traitement n'est pas spécifique. Selon la gravité des cas, les individus atteints peuvent être hospitalisés, avec contrôle des électrolytes, sous monitoring cardio-vasculaire avec des agents inotropes visant à équilibrer la pression artérielle. En cas d'insuffisance rénale, on peut les placer sous dialyse. De façon générale, les individus seront sous analgésiques, tranquillisants et antibiotiques de couverture en cas de surinfection(63).

- *Le virus Cowpox*

Le virus du cowpox ou variole de la vache, a été utilisé avec succès dès 1796 par Jenner pour protéger l'Homme contre la redoutable variole humaine. Ce virus de la famille des *Poxviridae* est potentiellement pathogène pour l'homme, des cas sporadiques sont décrits en France et dans le monde.

Les réservoirs principaux sont les mulots et les campagnols. En Franche-Comté des prévalences élevées ont été détectées chez le Campagnol terrestre (jusqu'à 82%)(48). On retrouve aussi ce virus chez les chats qui capturent ces petits mammifères. Ces derniers développent la maladie : ils présentent des lésions cutanées dans lesquelles le virus est présent. L'homme se contamine, en général, par contact cutané au niveau de ces lésions. La contamination peut aussi avoir lieu par l'intermédiaire des rongeurs. Ce fut le cas dans le nord de la France, en 2009, où quatre cas ont été décrits suite à des griffures de rats domestiques infectés(59).

Chez l'homme, on observe des lésions sur les mains voire la face. Il s'agit de papules évoluant en vésicules auréolées ou ombiliquées avec une réaction ganglionnaire locale. Des cas de fièvre et de lymphangite associée sont observés. Les individus immunodéprimés sont particulièrement sensibles. Des cas graves d'éruption généralisée des muqueuses oculaire, buccale et génitale, ainsi que des encéphalites démyélinisantes sont décrits.

Il n'existe pas de traitement spécifique de cette maladie.

C. Mesures de prévention des maladies transmises par les rongeurs

La lutte contre les maladies transmises par les rongeurs à l'homme passe par différentes méthodes, collectives et individuelles, en fonction des aires de répartition de ces petits mammifères, de l'exposition de l'homme et de l'infection concernée. Les méthodes de prévention individuelle concernent les individus exposés aux rongeurs, en particulier par leur activité professionnelle. Les méthodes de lutte collectives passent par la régulation des populations de rongeurs sauvages et l'éradication des foyers synanthropiques en raison de la proximité avec les habitats humains. Enfin, concernant les rongeurs de compagnie, la prévention passe par une bonne information des propriétaires en particulier concernant l'hygiène des animaux et les protocoles de vermifugation et de vaccination.

1. Mesures de prévention collectives

Ces mesures de prévention ont pour but de prévenir l'apparition de maladies dans l'ensemble de la population. Concernant les zoonoses des rongeurs, ces méthodes consistent à diminuer voire supprimer les réservoirs sauvages de ces maladies et à éviter les contacts avec les rongeurs.

- *Lutte préventive*

La lutte préventive contre les rongeurs consiste à agir sur leur milieu de répartition géographique afin de contrôler les populations.

Concernant les rongeurs anthropophiles, elle a pour but d'empêcher ces animaux de pénétrer, circuler et nidifier dans les bâtiments, ainsi que d'empêcher l'accès aux ressources (eau et nourriture). Des mesures d'ordre et de propreté ainsi que l'utilisation judicieuse des matériaux de construction (grillage, ciment lisse…) permettent de diminuer voire supprimer la « capacité d'accueil » des lieux. C'est une méthode de choix pour lutter contre une invasion de Rats surmulot, Rats noirs ou Souris domestiques mais il faut y songer dès la construction car sa mise en place par la suite est difficile et onéreuse(48).

Chez les rongeurs champêtres, la lutte préventive est de deux ordres : d'une part agir sur la composition des paysages et les pratiques agricoles, d'autre part favoriser la prédation. Des modifications dans l'utilisation des sols peuvent favoriser ou au contraire atténuer les pullulations de campagnols. Par exemple, dans les zones de moyenne montagne (Massif Central, Franche Comté), la monoculture d'herbe a entraîné des pullulations de Campagnols des champs et de Campagnols terrestres. A l'inverse, dans les Deux-Sèvres, l'augmentation des surfaces de maïs et de tournesol, par rapport aux surfaces en herbe a atténué les pullulations de Campagnol des champs, qui sont devenues épisodiques. Ainsi, l'entretien des bordures enherbées, des prairies, la destruction rapide des chaumes après récolte, l'entretien des terres en friche ou encore le labour des surfaces enherbées de moyenne montagne sont

autant de moyens qui permettent de réduire les populations de rongeurs champêtres. Cette lutte permet à la fois de diminuer le risque de transmission des zoonoses mais aussi de réduire les dégâts provoqués par les rongeurs qui détruisent les ressources alimentaires et dégradent les terres en creusant des galeries.

La prédation des rongeurs par les mammifères carnivores (Renard roux, Fouine, Putois…) et les rapaces exerce une action stabilisatrice sur les évolutions des populations. Cette prédation ne peut pas s'exercer dans un milieu trop ouvert qui est alors défavorable au prédateur. Ainsi, l'installation de perchoirs pour les rapaces ou encore l'aménagement de haies ou de zones boisées pour les mammifères carnivores est indispensable au maintien de ces prédateurs dans l'écosystème(48).

- *Méthodes curatives*

Les méthodes curatives contre les rongeurs consistent en l'utilisation de dispositifs physiques (clotûres, pièges…) ou de produits biologiques ou chimiques.

Des dispositifs de protection des cultures peuvent être utilisés, il s'agit soit de manchon pour arbustes, soit de grillage ou clôtures électriques pour protéger les parcelles des rongeurs champêtres. Contre les rongeurs anthropophiles, on utilise des pièges. Il peut s'agir de pièges grillagés appâtés, de « tapettes » ou de pièges couloirs. Il existe aussi des pièges à capture multiple.

La lutte biologique consiste à déclencher une épizootie spécifique à l'aide de germes pathogènes ou de parasites. Des bactéries de genre *Salmonella* ont été utilisée jusqu'en 1960, avec des résultats inconstants. De plus, des cas de mortalités chez des animaux domestiques et chez l'homme ont entrainé l'arrêt de cette méthode. D'autres méthodes ont été envisagées comme l'utilisation d'un nématode, *Capillaria hepatica,* ou encore des substances inhibant la reproduction, avec des résultats décevants.

La destruction des rongeurs par des substances toxiques (rodenticides) est actuellement la méthode la plus répandue. Ces toxiques sont soumis à la législation des produits antiparasitaires à usage agricole et doivent faire l'objet d'une homologation avant leur mise sur le marché. Il existe deux catégories de poisons :

- les anticoagulants qui agissent après une ou plusieurs ingestions
- les poisons aigus, agissant après une seule ingestion

Les anticoagulants empêchent la coagulation par un effet anti-vitamine K et provoquent la mort du rongeur par hémorragie interne quelques jours après l'ingestion du rodenticide. Les anticoagulants présentent deux avantages majeurs vis-à-vis des rodenticides aigus :

- ils sont bien acceptés par les rongeurs commensaux lorsqu'ils sont incorporés aux appâts avec une faible concentration
- les risques d'empoisonnement accidentel chez l'homme ou l'animal sont faibles

En cas d'empoisonnement, un antidote efficace existe : la phytoménadione-vitamine K(79). Cependant, on a observé des phénomènes de résistance aux anticoagulants, en particulier ceux

de première génération (coumafène, coumatétralyl, chlorophacinone). Les anticoagulants de deuxième génération, dérivés de l'hydroxycoumarine, sont nettement plus toxiques que les premiers, mais on observe aussi des résistances à la bromadiolone et au difénacoum.

En fonction des pays, l'anticoagulant utilisé est différent et la DL50 (la dose létale pour tuer 50% de la population des rongeurs) diffère en fonction du rodenticide utilisé (tableau V).

Anticoagulant	DL50 mg/kg Rat de Norvège	Conc. appât ppm.	DL50 g appât/250g rat
Brodifacoum	0,3	50	1,5
Flocoumafène	0,4	50	2,0
Bromadiolone	1,3	50	6,5
Difénacoum	1,6	50	9,03
Coumatétralyl	16,5	375	11,0
Diphacinone	3,0	50	15,0
Warfarine	58,0	250	58,0
Pival	50,0	250	50,00
Chlorophacinone	20,5	50	102,5

Tableau V : Efficacité relative et concentration recommandées pour donner une DL50 de plusieurs rodenticides anticoagulants au Rat surmulot (Rattus norvegicus)(79)

Les rodenticides aigus sont regroupés en trois catégories selon le risque à l'utilisation :

- les composés qui sont hautement toxiques et extrêmement dangereux pour l'Homme et les animaux.
- les composés qui sont modérément toxiques et dangereux pour l'Homme et les animaux et qui exigent des précautions considérables lors de leur utilisation.
- les composés dont la toxicité est faible, moins dangereux pour l'Homme et les animaux.

Chacun ayant un inconvénient que cela soit sur la toxicité, l'acceptabilité, la sécurité d'emploi ou le danger d'empoisonnement secondaire, ils ne sont plus recommandés aujourd'hui comme rodenticides(79).

Composé	Dose létale mg/kg	% utilisé dans appâts	Efficacité espèce Rn	Rr	Mm	Danger pour l'homme Recommandé ?	
Trioxide d'arsenic	13–25	1,5	x	x	x	extrême	non
Bromethaline	2,5	0,005	x	x	x	modéré	
Cimidine	1–5	0,5	x	x		extrême	
Fluroacétamide	13–16	2,0	x	x	x	extrême	
Fluoracétate de sodium	5–10	0,25	x	x	x	extrême	
Strychnine	6–8	0,6	x			extrême	
Sulfate de thallium	25	1,5	x	x	x	extrême	non
Alpha–chloralose	300	4,0	x			modéré	
Alpha–chlorohydrine	165	1,0	x	x		modéré	
ANTU	6–8	1,5	x			extrême	non
Calciférol	40	0,1	x	x	x	modéré	
Phosphure de zinc	40	1,0	x	x	x	modéré	
Scille rouge	500	10,0	x			faible	

a. DL50 pour *R. norvegicus*
b. Rn=*R. norvegicus* Rr=*R.rattus* Mm=*M. musculus*
c. Recommandation du Comité d'experts OMS (19)

Tableau VI : Caractéristiques des rodenticides aigus(79)

2. Mesures de prévention individuelles

Contrairement aux précédentes, ces mesures de prévention concernent l'homme et ont pour but d'éviter toute contamination lors de contacts avec des rongeurs.

- *Prévention des zoonoses des rongeurs de compagnie*

Comme pour tout autre animal de compagnie, des règles d'hygiène simples sont à respecter avec les rongeurs pour éviter toute contamination. Il s'agit de veiller à l'état sanitaire des animaux de compagnie notamment par une visite chez le vétérinaire, des déparasitages voire des dépistages.

Concernant l'environnement des rongeurs, on conseillera une cage facile à nettoyer, à démonter, pour une bonne hygiène et suffisamment grande s'il y a plusieurs rongeurs. Le nettoyage de la cage ne doit pas être fait par les enfants du fait de leur sensibilité aux maladies et aux allergies. D'autre part, il faut éviter une trop grande proximité avec l'animal : il ne doit pas aller dans les lits et il faut se laver les mains après chaque manipulation(61).

Il est important de connaître le mode de vie du rongeur (nocturne ou diurne) et son alimentation : certains rongeurs sont strictement herbivores, comme le cobaye, d'autres sont omnivores (souris, hamster, rat). Il est aussi important de respecter de bonnes conditions de lumière, température et aération permettant d'éviter des pathologies liées au stress(80).

La lutte contre les zoonoses passe aussi par l'information des propriétaires sur les risques et les maladies des rongeurs. C'est notamment le rôle du pharmacien d'officine, qui peut être amené à conseiller les propriétaires de rongeurs lorsque leurs animaux présentent des symptômes de maladie. Certaines maladies courantes et bégnines chez les rongeurs doivent

être connues du pharmacien, qui est à même de conseiller les propriétaires sur les moyens de soigner leurs animaux et de se protéger d'une éventuelle transmission à l'homme. Dans le tableau suivant (tableau VII), sont répertoriées les maladies fréquemment rencontrées chez les rongeurs domestiques, ainsi que les traitements et la prophylaxie à mettre en place.

NAC	Pathologie	Symptômes	Traitement	Prévention
Tous rongeurs	Pododermatite	Inflammation des coussinets, l'animal boite	Désinfection des plaies, mettre une litière végétale épaisse	Eviter les fonds de cage grillagés. Poudrage au talc des coussinets. Cobaye : apport systématique de vitamine C
	Entérites	Diarrhée	Vétérinaire (antibiotiques)	Eviter les stress, la surpopulation. Désinfection régulière de l'habitat, lavage des végétaux, biberons d'eau suspendus
	Nématodes et tænias	Entérites, occlusions	Vermifuger (hors AMM) et reconduire le traitement 8 à 15 jours plus tard	Changer régulièrement la litière, laver la cage et les végétaux frais. Vermifuger l'animal régulièrement
Cobayes	Hypovitaminose C	Difficultés à marcher, saignements gingivaux, anorexie…	Vitamine C à forte dose pendant 1 mois	Complément systématique en vitamine C
Rat	Affections respiratoires	Dyspnée, jetage, épistaxis	Vétérinaire (antibiotiques)	-
Souris	Variole à Poxvirus	Nécrose des pattes, chute des doigts et de la queue	Aucun traitement	Désinfection des locaux par virucide

Tableau VII : Traitement et prévention des pathologies des rongeurs de compagnie(80)

Des affections comme la pododermatite, les parasitoses internes ou l'hypovitaminose C du cobaye, sont fréquentes. Leur prise en charge est relativement simple et facile à mettre en œuvre. Cependant, il ne faut pas oublier des mesures d'hygiène simple lorsqu'on a un rongeur malade chez soi afin d'éviter une éventuelle transmission à l'homme :

- changer la litière avec des gants
- bien se laver les mains après les soins
- manipuler le rongeur le moins possible
- éloigner les enfants du rongeurs car ils sont plus sensibles aux maladies (parasitoses entre autre)

La vermifugation préventive des rongeurs est recommandée. Les produits spécifiques des rongeurs étant rares, il est possible d'utiliser des vermifuges pour chien ou chat, disponibles en officine, à des doses adaptées. Il en est de même avec les antiparasitaires externes. Dans ce dernier cas, l'utilisation du fipronil est à proscrire car cette molécule est toxique pour les rongeurs(80). Cette molécule se retrouve couramment dans les antiparasitaires destinés aux chiens et aux chats.

- *Prévention des zoonoses professionnelles et de loisir*

La conduite à tenir pour éviter d'être contaminé consiste à réduire les sources de contamination possibles, et à respecter les règles d'hygiène. Les risques de contracter une infection animale lors de l'exercice d'une profession peuvent être limités par diverses mesures(62):

- limiter les risques de griffures et de morsure par des rongeurs, sauvages ou non
- porter des gants, vêtements et bottes adaptés pour la manipulation des rongeurs, cages et litières et se changer en fin de journée
- se laver les mains avec de l'eau propre et du savon après chaque contact direct ou indirect avec les animaux et avant les repas ou en fin de journée de travail
- ne pas boire, manger et fumer sur son lieu de travail
- désinfecter et dératiser régulièrement les locaux occupés par des animaux
- en cas de blessure, bien se laver, savonner, rincer puis désinfecter et enfin recouvrir d'un pansement imperméable
- vacciner les personnes particulièrement exposées

Concernant les zoonoses d'origine alimentaire, il est recommandé de laver la nourriture avant de la consommer et de cuire suffisamment les produits d'origine animale. D'autre part, il faut éviter les baignades en eau douce, source de zoonoses de loisir (leptospirose).

La prophylaxie passe aussi par l'information des professionnels comme des particuliers pratiquant des activités à risque (sport en eau douce), par l'intermédiaire entre autre du pharmacien d'officine.

Conclusion

Les zoonoses, leur propagation et leur incidence, sont liées aux conditions environnementales. Ces maladies se propagent d'hôtes en hôtes, d'espèces en espèces lorsque les conditions optimales sont réunies. Elles sont donc liées aux modifications des écosystèmes et à la biodiversité, de façon directe mais aussi indirecte à travers les conséquences de ces modifications sur leurs différents hôtes.

Nous avons vu l'exemple des zoonoses des rongeurs dont le mode de vie proche de l'homme rend leurs pathogènes d'autant plus dangereux pour nous. L'évolution des populations de rongeurs sauvages est très dépendante de l'utilisation de l'environnement par l'homme. Une modification dans les modes de cultures, des terrains laissés en jachères, sont autant de conditions favorables à la pullulation de rongeurs champêtres. A ce phénomène vient s'ajouter les lâchers d'animaux exotiques dans des écosystèmes où ils n'avaient pas leur place (exemple de l'écureuil de Sibérie ou du Ragondin). Dans ces nouveaux écosystèmes, ils n'ont pas de prédateur naturel, donc aucun système naturel de régulation des populations ne peut s'exercer. C'est ainsi que l'on voit les populations de Ragondins prospérer, avec tous les dégâts qu'ils peuvent causer aux écosystèmes des berges de rivières et d'étangs. Ils menacent non seulement les infrastructures humaines mais également la survie des espèces animales et végétales autochtones. D'autre part ces animaux importés modifient le cycle des pathogènes déjà présents. Par exemple, les écureuils de Sibérie amplifient le cycle de transmission de la maladie de Lyme à cause de leur sensibilité accrue aux bactéries du genre *Borrelia*.

Enfin, l'introduction des rongeurs dans les maisons, en tant qu'animaux de compagnie, exposent leurs propriétaires à des maladies jusqu'alors rares en France (virus cow-pox, par exemple). La présence de ces animaux, comme d'autres animaux de compagnie, peut être bénéfique d'un point de vue psychologique sur notre mode de vie citadin et sur le développement des enfants, cependant il ne faut pas oublier les mesures d'hygiène élémentaires, afin d'accueillir l'animal en toute sécurité.

Les rongeurs sont un exemple parmi d'autre de réservoirs de maladies transmissible à l'homme. D'autres maladies plus fréquentes, comme les arboviroses par exemple, et en particulier celles transmises par les moustiques (dengue, chikungunya…) sont également très liées aux conditions climatiques et environnementales. Or ces conditions de propagation sont le reflet des activités humaines, bousculant les écosystèmes et érodant la biodiversité. Les modifications dans l'utilisation des sols, les conditions d'élevages, la mondialisation des échanges, l'utilisation de pesticides ou encore le rejet de gaz à effet de serre sont autant d'activités qui mettent en péril la biodiversité, et à terme notre santé.

Les impacts des activités anthropiques sont mesurés et évalués par des groupes d'experts comme le GIEC qui publie régulièrement des rapports inquiétants sur le réchauffement climatique, anticipant les changements à venir pour mieux y faire face. Ces changements globaux inédits, inquiètent par leur rapidité mais aussi leur inertie. En effet, le GIEC précise dans son dernier rapport que même en arrêtant de produire des gaz à effet de serre, le réchauffement climatique continuera à s'amplifier(14). Un autre moyen d'observer les conséquences des activités anthropiques est de s'intéresser à la santé des espèces sauvages et des écosystèmes. C'est ce que fait l'UICN, en publiant des listes d'espèces animales ou

végétales invasives ou, au contraire, menacées d'extinctions. On voit ainsi directement les changements en cours dans les écosystèmes et l'impact fort que nous avons sur notre environnement. Du point de vue de la santé, l'OMS et des projets de recherche européens (projet EDEN) surveillent également la situation des maladies émergentes et réémergentes à travers le monde, par une approche globale des problèmes, afin de mieux s'en protéger.

Nous faisons actuellement face à une crise de la biodiversité mais également à une crise sanitaire, se manifestant par l'émergence de maladies infectieuses sous forme de flambées épidémiques (SRAS, fièvre due au virus Ebola…). Ces deux crises sont étudiées et décrites selon des points de vue différents, la première principalement par les sciences de l'écologie et de la conservation, la seconde par les sciences de la santé. Elles sont en réalité l'expression d'une même situation : les changements globaux inédits qui prennent forme de façon multiple.

Conserver la biodiversité et assurer le bien-être de l'être humain sont des valeurs maintenant communément partagées, mais qui ne vont pas forcément de pair, se heurtant parfois à des nécessités immédiates de santé. En effet, si un pays riche qui a acquis une large maitrise de son environnement initie des actions de protection des écosystèmes, d'autres pays sont encore dans une phase de maîtrise de leur environnement avec pour priorité immédiate la santé humaine. C'est par exemple le cas des pays impaludés, qui luttent contre la prolifération des moustiques vecteurs du paludisme à l'aide d'insecticides.

D'un point de vue médical, nous nous retrouvons face à de nouveaux défis sanitaires avec l'émergence de nouveaux pathogènes capables, à partir d'un foyer localisé, de se répandre dans l'ensemble de la population mondiale, notamment par l'intermédiaire des échanges mondiaux et du commerce international. L'écologie évolutive, peut apporter une aide non négligeable par ses compétences sur l'évolution des organismes vivants et de leurs comportements sous l'influence des contraintes de l'environnement. Connaître la biodiversité et son fonctionnement permet à la fois de comprendre, d'anticiper et de contrer les émergences.

Les problèmes de santé et de conservation de la biodiversité vont augmenter durant le XXI^{e} siècle. Les modifications dans les interactions entre la biodiversité, le fonctionnement des écosystèmes et les pathogènes évoluant en leur sein, les populations humaines et d'animaux domestiques et sauvages vont encore s'accentuer. Les mégalopoles humaines devraient continuer à se développer, associées à des modes d'élevage et d'exploitation des ressources naturelles pour nourrir les populations humaines encore en croissance, ainsi qu'à une dégradation des écosystèmes et une production accrue de déchets. Le changement climatique, dû notamment aux émissions de gaz à effet de serre, devrait, lui aussi, modifier en profondeur la biodiversité.

Sans vouloir aborder ce problème de manière pessimiste, il s'agit d'en être conscient et d'alerter sur la nécessité de développer de nouvelles approches pluridisciplinaires, intégrant la prévention évolutive. Cette approche semble difficile à mettre en place dans nos sociétés vivant en accéléré sur des planifications à quelques années par les politiques et les économistes. Il faudrait pourtant être capable de prédire à long terme et de façon plus globale les conséquences de nos modes de vie et d'adapter nos pratiques en conséquence. Il faut donc agir de façon globale mais également individuelle pour à la fois enrayer ce phénomène, dans la mesure du possible, mais également se préparer à des changements inévitables.

Les pharmaciens de par leur formation scientifique élargie sont aptes à décrypter les enjeux à plus ou moins longs termes pour la santé de ces changements globaux. Lors de leur pratique professionnelle journalière au contact du public, ils peuvent être des interlocuteurs précieux pour relayer et transmettre ces informations scientifiques sans générer d'inquiétudes disproportionnées socialement dangereuses.

Bibliographie:

1. Eden - Emerging diseases / Home [Internet]. [cité 31 janv 2014]. Disponible sur: http://www.eden-fp6project.net/emerging_diseases

2. Robert Barbault. Interview Robert Barbault 1.mpg [Internet]. 2006 [cité 23 sept 2013]. Disponible sur: http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/biodiversite/barbault/clip%201%20barbault.mpg

3. Aufray R, Rovillé M, Leriche H. CNRS/sagascience - Les écosystèmes [Internet]. CNRS. [cité 18 oct 2013]. Disponible sur: http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapA_p1_f1&zoom_id=zoom_a1_3

4. Corvalán C, McMichael AJ, Hales S, World Health Organization. Ecosystems and human well-being health synthesis: a report of the millennium ecosystem assessment [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2005 [cité 30 sept 2013]. Disponible sur: http://www.who.int/globalchange/ecosystems/ecosys.pdf

5. ORNL. Plunging into Carbon Sequestration Research. ORNL Rev [Internet]. 2000 [cité 24 sept 2014];33(2). Disponible sur: http://web.ornl.gov/info/ornlreview/v33_2_00/research.htm

6. William M. Ciesla. Le Changement Climatique, les Forêts et l'Aménagement Forestier: Aspects Généraux (Etude FAO Forêts - 126) [Internet]. FAO; 1997 [cité 3 sept 2014]. Disponible sur: http://www.fao.org/docrep/v5240f/v5240f08.htm

7. Kumar Duraiappah A, Naeem S, Agardy T, Ash NJ, Cooper HD, Diaz S, et al. Ecosystems and human well-being biodiversity synthesis: a report of the millennium ecosystem assessment [Internet]. World Health Organisation; 2005 [cité 5 nov 2013]. Disponible sur: http://www.unep.org/maweb/documents/document.354.aspx.pdf

8. Crutzen PJ. Geology of mankind. Nature. 2002;415(6867):23-23.

9. Levrel H. CNRS/sagascience - Les sources de l'érosion [Internet]. [cité 18 oct 2013]. Disponible sur: http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapA_p2&zoom_id=zoom_a2_4#sources1

10. Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Chapin FS, Lambin EF, et al. A safe operating space for humanity. Nature. 24 sept 2009;461(7263):472-5.

11. Barnosky AD, Hadly EA, Bascompte J, Berlow EL, Brown JH, Fortelius M, et al. Approaching a state shift in Earth's biosphere. Nature. 6 juin 2012;486(7401):52-8.

12. Marielle Court. Le retour des algues vertes sur les côtes bretonnes [Internet]. Le Figaro. 2013 [cité 19 déc 2013]. Disponible sur: http://www.lefigaro.fr/environnement/2013/06/06/01029-20130606ARTFIG00410-le-retour-des-algues-vertes-sur-les-cotes-bretonnes.php

13. Emilie Novince, Alain Baert, Cécile Robert, Jean-Yves Piriou, Sylvain Ballu. Les risques et nuisances causées par les marées vertes - Bretagne Environnement [Internet]. Bretagne environement. 2011 [cité 19 déc 2013]. Disponible sur: http://www.bretagne-environnement.org/Mer-littoral/Les-menaces/Marees-vertes/Les-risques-et-nuisances-causees-par-les-marees-vertes

14. Stocker TF, Qin D. Changement Climatiques 2013 Les éléments scientifiques Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Résumé à l'intention des décideurs) [Internet]. GIEC; 2013 oct [cité 11 sept 2014]. Disponible sur: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf

15. ADEME. L'effet de serre, comment ça marche? [Internet]. ADEME. [cité 24 sept 2014]. Disponible sur: http://www.ademe.fr/expertises/changement-climatique-energie/quoi-parle-t-0

16. Jean-Marc Jancovici. Manicore - Accueil [Internet]. [cité 12 sept 2013]. Disponible sur: http://www.manicore.com/index.html

17. GIEC GROUPE DE TRAVAIL I. Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Résumé à l'intention des décideurs) [Internet]. GIEC; 2007 [cité 23 oct 2013]. Disponible sur: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm-fr.pdf

18. GIEC GROUPE DE TRAVAIL I. CHANGEMENTS CLIMATIQUES 2013 Les éléments scientifiques Résumé à l'intention des décideurs [Internet]. 2013 [cité 10 juill 2014]. Disponible sur: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf

19. Loh J, Green RE, Ricketts T, Lamoreux J, Jenkins M, Kapos V, et al. The Living Planet Index: using species population time series to track trends in biodiversity. Philos Trans R Soc B Biol Sci. 28 févr 2005;360(1454):289-95.

20. Vié J-C, Hilton-Taylor C, Stuart SN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales. La Vie sauvage dans un monde en mutation: la liste rouge de l'UICN des espèces menacées : analyse de la liste 2008. Gland; Bellaterra: UICN ; Lynx; 2011.

21. Pierre Le Hir. Bêtes et plantes, exilées du climat [Internet]. Le Monde.fr. 2011 [cité 19 déc 2013]. Disponible sur: http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/08/19/betes-et-plantes-exilees-du-climat_1561241_3244.html

22. Jean-Emmanuel Rattinacannou. Réchauffement : les espèces fuient vers le nord et en altitude [Internet]. Futura-Sciences. 2011 [cité 19 déc 2013]. Disponible sur: http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/actu/d/climatologie-rechauffement-especes-fuient-vers-nord-altitude-32994/

23. Fabrégat S. Climat : les migrations animales et végétales plus rapides que prévu [Internet]. Actu-Environnement. 2011 [cité 16 sept 2014]. Disponible sur: http://www.actu-environnement.com/ae/news/climat-impact-especes-animales-vegetales-migrations-13282.php4

24. Franck Courchamp, Frédérique Trouslard. Le changement climatique va-t-il intensifier les invasions biologiques ? [Internet]. CNRS. 2013 [cité 16 janv 2014]. Disponible sur: http://www.cnrs.fr/inee/communication/breves/b003.htm

25. Bellard C, Thuiller W, Leroy B, Genovesi P, Bakkenes M, Courchamp F. Will climate change promote future invasions? Glob Change Biol. déc 2013;19(12):3740-8.

26. DAISIE - 100 of the Worst [Internet]. [cité 22 janv 2014]. Disponible sur: http://www.europe-aliens.org/speciesTheWorst.do

27. Observatoire des ambroisies, Réseau National de Surveillance Aérobiologique. L'ambroisie : invasion favorisée par l'homme et cartes des zones infestées [Internet]. 2011 [cité 12 oct 2014]. Disponible sur: http://www.ambroisie.info/pages/envahi.htm

28. Agence Régionale de Santé Rhône-Alpes. Ambroisie : attention allergie ! [Internet]. [cité 12 oct 2014]. Disponible sur: http://www.ars.rhonealpes.sante.fr/Ambroisie-Attention-Allergie.91569.0.html

29. Reeves H, Dr Souvet P. Notre santé et la biodiversité. Buchet Chastel. 2013. 230 p.

30. Stephen R. Keller, Edward O. Wilson. The biophlia hypothesis [Internet]. Island Press; 1993 [cité 3 sept 2014]. Disponible sur: http://www.ideal.forestry.ubc.ca/frst524/04_Ulrich.pdf

31. S. Kaplan. The restorative benefits of nature: toward an integrative framework. J Environ Psychol [Internet]. 1995 [cité 3 sept 2014]; Disponible sur: http://www.ideal.forestry.ubc.ca/frst524/09_kaplan.pdf

32. Sébastian SEIBT. Economie - Climat : « Les évènements extrêmes se multiplient » [Internet]. France 24. 2013 [cité 9 juill 2014]. Disponible sur: http://www.france24.com/fr/20130927-giec-consequences-changement-climatique-rechauffement-fonte-glace-catastrophe-naturelle-climatologue/

33. Pascal M, Medina S, Viso A-C, Beaudeau P. Quels impacts sanitaires du changement climatique et quels rôles pour la surveillance? [cité 11 mars 2014]; Disponible sur: http://fulltext.bdsp.ehesp.fr/Invs/BEH/2012/12-13/beh_12_13.pdf

34. Denis Hémon, Eric Jougla. Surmortalité liée à la canicule d'août 2003 - Rapport INSERM [Internet]. 2004 [cité 10 juill 2014]. Disponible sur: http://www.inserm.fr/content/download/1435/13095/file/canicule_octobre2004.pdf

35. Ixodes ricinus | Natural History Museum [Internet]. Natural History Museum. [cité 16 juill 2014]. Disponible sur: http://www.nhm.ac.uk/nature-online/species-of-the-day/scientific-advances/disease/ixodes-ricinus/

36. Ready PD. Leishmaniasis emergence and climate change. Rev Sci Tech. 2008;27(2):399-412.

37. Hayes EB, Sejvar JJ, Zaki SR, Lanciotti RS, Bode AV, Campbell GL. Virology, Pathology, and Clinical Manifestations of West Nile Virus Disease. Emerg Infect Dis. août 2005;11(8):1174-9.

38. Paz S, Semenza JC. Environmental Drivers of West Nile Fever Epidemiology in Europe and Western Asia--A Review. Int J Environ Res Public Health. août 2013;10(8):3543-62.

39. Barzon L, Pacenti M, Franchin E, Pagni S, Lavezzo E, Squarzon L, et al. Large Human Outbreak of West Nile Virus Infection in North-Eastern Italy in 2012. Viruses. 22 nov 2013;5(11):2825-39.

40. Paludisme [Internet]. Institut Pasteur. [cité 31 juill 2014]. Disponible sur: http://www.pasteur.fr/fr/institut-pasteur/presse/fiches-info/paludisme

41. Françoise Weber, Judith Benrekassa, Jocelyne Rajnchapel-Messai, Laetitia Gouffé-Benadiba, Farida Mihoub. BEH Recommandations sanitaires pour les voyageurs, 2013 [Internet]. 2013 [cité 31 juill 2014]. Disponible sur: http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/BEH_22-23.pdf

42. Santa-Olalla Peralta P, Vazquez-Torres MC, Latorre-Fandos E, Mairal-Claver P, Cortina-Solano P, Puy-Azón A, et al. First autochthonous malaria case due to Plasmodium vivax since eradication, Spain, October 2010. Euro Surveill Bull Eur Sur Mal Transm Eur Commun Dis Bull. 14 oct 2010;15(41):19684.

43. Pépin M. Fièvre de la vallée du Rift. Médecine Mal Infect. juin 2011;41(6):322-9.

44. OMS | Flambée de maladie à virus Ebola en Afrique de l'Ouest [Internet]. WHO. [cité 4 oct 2014]. Disponible sur: http://www.who.int/csr/don/2014_09_04_ebola/fr/

45. Center for disease control and prevention. First Imported Case of Ebola Diagnosed in the United States | Ebola Hemorrhagic Fever | CDC [Internet]. 2014 [cité 4 oct 2014]. Disponible sur: http://www.cdc.gov/vhf/ebola/outbreaks/2014-west-africa/united-states-imported-case.html

46. INVS. Virus Ebola: Afrique de l'Ouest, Guinée, Liberia, Sierra Léone [Internet]. INVS; 2014 juill [cité 4 oct 2014]. Disponible sur: http://www.invs.sante.fr/fr/content/download/91676/334185/version/3/file/virus_ebola_090714.pdf

47. Wilson DE, Reeder DM. Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference. JHU Press; 2005. 1426 p.

48. J.-P. Quéré, H Le Louarn. Les rongeurs de France, Faunistique et biologie. INRA; 2011. 311 p.

49. ISSG. Global Invasive Species Database Rodentia Order [Internet]. [cité 9 sept 2014]. Disponible sur: http://www.issg.org/database/species/search.asp?sts=tss&st=tss&fr=1&x=0&y=0&li=4&tn=rodentia&lang=EN#

50. Singleton GR, Brown PR, Pech RP, Jacob J, Mutze GJ, Krebs CJ. One hundred years of eruptions of house mice in Australia – a natural biological curio. Biol J Linn Soc. 1 mars 2005;84(3):617-27.

51. Prigioni C, Balestrieri A, Remonti L. Food habits of the coypu, Myocastor coypus , and its impact on aquatic vegetation in a freshwater habitat of NW Italy. Folia Zool. 2005;(54):269-77.

52. Michel V, Ruvoen-Clouet N, Menard A, Sonrier C, Fillonneau C, Rakotovao F, et al. Role of the coypu (Myocastor coypus) in the epidemiology of leptospirosis in domestic animals and humans in France. Eur J Epidemiol. 1 févr 2001;17(2):111-21.

53. Chapuis J-L. Répartition en France d'un animal de compagnie naturalisé, le Tamia de Sibérie (Tamias sibiricus). Rev Ecol Terre Vie. 2005;60:239-53.

54. Chapuis J-L, Ferquel E, Patey O, Vourc'h G, Cornet M. Borréliose de Lyme: situation générale et conséquences de l'introduction en Île-de-France d'un nouvel hôte, le tamia de Sibérie. Bull Épidémiologique Hebd. 2010;6-8.

55. UICN Comité Français, Museum national d'Histoire naturelle. La Liste rouge des espèces menacées en France - Mammifères de France métropolitaine. La Liste rouge des espèces menacées en France [Internet]. 2009 [cité 9 sept 2014]. Disponible sur: http://www.uicn.fr/IMG/pdf/Liste_rouge_France_Mammiferes_de_metropole.pdf

56. Ranaivojaona M. Qu'est-ce qu'un nouvel animal de compagnie ou NAC ? Actual Pharm. nov 2012;51(520):12-7.

57. Michel J-M, Bournigal J-M. Arrêté du 11 août 2006 fixant la liste des espèces, races ou variétés d'animaux domestiques. DEVN0650509A oct 7, 2006.

58. Ranaivojaona M. Le phénomène « NAC », quelles conséquences ? Actual Pharm. nov 2012;51(520):18-23.

59. Ninove L, Domart Y, Vervel C, Voinot C, Salez N, Raoult D, et al. Cowpox Virus Transmission from Pet Rats to Humans, France. Emerg Infect Dis. mai 2009;15(5):781-4.

60. World Health Organization. Joint WHO/FAO expert comittee on zoonoses : WHO technical report series no. 169 [Internet]. Geneva; 1959 [cité 16 sept 2014]. Disponible sur: http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_169.pdf

61. Haddad N, Toma B. Les zoonoses infectieuses, Polycopié des Unités de maladies contagieuses des Ecoles vétérinaires françaises [Internet]. Lyon: Mérial; [cité 16 sept 2014]. 182 p. Disponible sur: http://infoma.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Zoonoses_cle88e38a.pdf

62. Juif M. Les zoonoses transmissibles du rat à l'homme: conseils en officine [Internet]. [Nancy]: Université Henri Poincaré; 2011 [cité 16 sept 2014]. Disponible sur: http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_T_2011_JUIF_MARYLENE.pdf

63. Goncalves da Cruz I. Contribution à l'étude du portage zoonotique chez les rats de terrain [Internet]. [Lyon]: Lyon I - Claude Bernard; 2007 [cité 8 sept 2014]. Disponible sur: http://www2.vetagro-sup.fr/bib/fondoc/th_sout/dl.php?file=2007lyon039.pdf

64. Quinet B. Nouveaux animaux de compagnie : infections spécifiques ou non ? Arch Pédiatrie. mai 2013;20(5, Supplement 1):H212-3.

65. Benrekass J, Bronner A, Calavas D, Capek I, Delannoy S, de Valk H, et al. Zoonoses :pour une approche intégrée de la santé à l'interface Homme-Animal. INVS, Anses, DGAI; 2010.

66. Carniel É. La peste. C R Biol. août 2002;325(8):851-3.

67. Demeure C, Carniel E. Yersinia pestis. Rev Francoph Lab. sept 2009;2009(415):33-9.

68. Aux Etats-Unis, la guerre contre les tiques et la maladie de Lyme [Internet]. Le Monde.fr. [cité 16 juill 2014]. Disponible sur: http://www.lemonde.fr/planete/article/2013/06/26/aux-etats-unis-la-guerre-contre-les-tiques-et-la-maladie-de-lyme_3436898_3244.html

69. Schramm F, Grillon A, Martino SD, Jaulhac B. La borréliose de Lyme. Rev Francoph Lab. déc 2013;2013(457):35-49.

70. Centre Hospitalier Vétérinaire Fregis. Urgences vétérinaires : Mon chien a des tiques [Internet]. [cité 30 sept 2014]. Disponible sur: http://www.fregis.com/index.php?id=324

71. Estavoyer JM, Hoen PB, Leroy J, Chirouze C, Faucher JF. CONDUITE À TENIR DEVANT UNEMORSURE DE TIQUE EN FRANCHE-COMTÉ. CHRU Besançon Serv Mal Infect Trop [Internet]. 13 juill 2012 [cité 30 sept 2014]; Disponible sur: http://bmorel.assoc.pagespro-orange.fr/rando/infos/Conduite-a-tenir-devant-une-morsure-de-tique-en-FC.pdf

72. Abadia G, Andre Fontaine G, Baranton G, Bonnier M, Dantoine F, Capek I, et al. Nouvelles recommandations relatives à la prévention du risque chez les personnes exposées à la leptospirose. Rapport présenté et adopté lors de la séance du CSHPF du 18 mars 2005 [Internet]. Conseil supérieur d'Hygiène Publique de France; 2005. 43 p. p. Disponible sur: http://opac.invs.sante.fr/index.php?lvl=notice_display&id=5793

73. Aviat F, Blanchard B, Michel V, Blanchet B, Branger C, Hars J, et al. Leptospira exposure in the human environment in France: A survey in feral rodents and in fresh water. Comp Immunol Microbiol Infect Dis. déc 2009;32(6):463-76.

74. Wilkins EGL, Millar JGB, Cockcroft PM, Okubadejo OA. Rat-bite fever in a gerbil breeder. J Infect. mars 1988;16(2):177-80.

75. Guihot A, Bricaire F, Bossi P. Tularémie. EMC - Mal Infect. mars 2005;2(1):1-10.

76. Greub JD et G. Fièvre Q : une zoonose souvent méconnue. Mal Infect. 24 avr 2013;Volume 383(16):879-84.

77. Centers for disease control and prevention. Arenaviridae | Viral Hemorrhagic Fevers (VHFs) | CDC [Internet]. 2008 [cité 28 sept 2014]. Disponible sur: http://www.cdc.gov/vhf/virus-families/arenaviridae.html

78. Vapalahti O, Mustonen J, Lundkvist Å, Henttonen H, Plyusnin A, Vaheri A. Hantavirus Infections in Europe. Lancet Infect Dis. oct 2003;3(10):653-61.

79. Dennis DT, Gage KL, Gratz NG, Poland JD, Tikhomirov E, Control WHOED. Manuel de la peste : epidémiologie, répartition, surveillance et lutte. Organ Mond Santé

[Internet]. 1999 [cité 30 sept 2014]; Disponible sur: http://apps.who.int//iris/handle/10665/66721

80. Allaire A, Mrozovski J-M, Bontemps F. Les nouveaux animaux de compagnie. Monit Pharm. 5 févr 2005;(2568).