



BIODIV'2050

Santé et Biodiversité :
nécessité d'une approche commune

MISSION ÉCONOMIE DE LA BIODIVERSITÉ



© Ansgar Scheffold de Pixabay

ÉDITO

L'Évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques de l'IPBES est venue alerter sur l'état de la biodiversité au niveau international. Ce constat scientifiquement établi est également porteur d'espoirs quant à la possibilité d'atteindre conjointement plusieurs objectifs sociétaux à l'échelle mondiale (notamment pour l'alimentation, l'eau, l'énergie et l'adaptation aux changements climatiques), à travers une action concertée et des changements à engager dès maintenant.

La santé fait évidemment partie des enjeux cruciaux, tant pour les citoyens que pour les pouvoirs publics. Étant donné les multiples interactions entre santé humaine et biodiversité, la dynamique d'effondrement de la biodiversité que nous vivons aujourd'hui entraîne une recrudescence des risques pour la santé humaine. Il est nécessaire d'agir urgemment pour préserver et restaurer les écosystèmes, en mesure de prévenir de nombreuses problématiques sanitaires. Ceux-ci s'observent notamment à travers la dilution des agents infectieux, la lutte contre les maladies chroniques, la fourniture de médicaments, la réduction de la pollution de l'air, la purification de l'eau, le soutien à l'alimentation saine... la liste des bénéfiques est longue et sans équivoque.

Au-delà de l'aspect sanitaire, la biodiversité agit sur notre bien-être à travers de nombreux canaux, qu'ils soient psychologiques, cognitifs, culturels ou encore sociaux. Qui ne s'est jamais retrouvé à contempler un paysage splendide et ressentir un sentiment immense d'apaisement et de bien-être ? Si aujourd'hui les expériences de la nature

se tarissent du fait de l'urbanisation et du développement de la technologie, elles sont pourtant essentielles au développement de l'enfant, à la quiétude des adultes et au dynamisme des personnes âgées.

Il est aussi nécessaire de faire prendre conscience des impacts de notre système de santé sur la biodiversité, et des répercussions occasionnées *a fortiori* sur la santé humaine. Si l'élaboration de médicaments a des impacts substantiels sur la biodiversité (surexploitation des essences, modification des aires géographiques), le rejet dans la nature de résidus médicamenteux issus du processus de fabrication des médicaments ou de leur consommation altère plus largement l'ensemble des écosystèmes (dérèglement du système métabolique des êtres vivants, malformations, mortalité directe, antibiorésistance, etc.). Au regard de ces impacts, les choix individuels et collectifs dans nos sociétés sont plus que jamais cruciaux afin de s'engager dans une consommation raisonnée de médicaments.

La santé est un sujet qui nous touche tous, de plus en plus approprié par les citoyens. Elle trouve aussi sa place au cœur des préoccupations des décideurs publics, au regard des budgets consacrés à la recherche, aux hôpitaux et plus globalement à la santé. CDC Biodiversité et la Fondation Rovaltain, à travers cette publication et dans leurs travaux en général, œuvrent à apporter une réflexion sur la mise en place d'une réponse cohérente et l'élaboration de solutions pérennes pour répondre aux enjeux communs santé-biodiversité.

Plus largement, nous souhaitons que cette publication contribue à une évolution significative de notre rapport aux êtres vivants. Assurons une véritable coexistence homme-nature en réapprenant à vivre avec la biodiversité, que ce soit en milieu urbain, dans les océans et rivières, au cœur des forêts ou au creux de nos intestins.



Philippe GARRIGUES
Président de la Fondation Rovaltain



Marc ABADIE
Président de CDC Biodiversité – Directeur de la Mission Économie de la Biodiversité

SOMMAIRE

TRIBUNE

4

- **Dr. Maria Neira**, Directrice du Département Santé publique, déterminants sociaux et environnementaux de la santé à l'Organisation mondiale de la Santé (OMS)

COMPRENDRE

6

Préserver la biodiversité pour préserver la santé humaine

- Biodiversité et maladies : enjeux préventifs et curatifs de la biodiversité
- Biodiversité et bien-être physique : le rôle de la biodiversité dans la satisfaction des besoins
- Bien-être mental et bien-être social : l'amélioration de la qualité de vie par la biodiversité

INVENTER

35

Les impacts du secteur de la santé sur la biodiversité et les solutions pour y remédier

- Exploitation de la biodiversité à des fins thérapeutiques
- Les résidus médicamenteux dans l'environnement
- Impacts des résidus médicamenteux dans l'environnement
- Les solutions pour limiter l'impact des résidus médicamenteux sur l'environnement

INTERNATIONAL

44

Santé et biodiversité dans les pays du Sud : l'approche par les Objectifs de développement durable

INITIATIVES

47

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : **MARC ABADIE**

RÉDACTEUR EN CHEF : **PHILIPPE THIÉVENT**

COORDINATION-CONCEPTION : **THÉO MOUTON, SOPHIE MÉNARD, ANTOINE CADI**

ÉTUDE RÉALISÉE PAR : **THÉO MOUTON ET SOPHIE MÉNARD (CDC BIODIVERSITÉ), ÉMILIE ÉGÉA (FONDATION ROVALTAIN)**

AVEC LE SOUTIEN DE : **SALAMMBÓ HOTTE**

MERCI À : **DELPHINE DELAUNAY (FONDATION ROVALTAIN), HERNANDO SALCEDO FIDALGO (EHESS) ET HÉLÈNE LERICHE (ASSOCIATION ORÉE)**, POUR LEUR CONTRIBUTION, LEUR RELECTURE ATTENTIVE ET LEURS SUGGESTIONS

ÉDITION : **MISSION ÉCONOMIE DE LA BIODIVERSITÉ**

GRAPHISME : **JOSEPH ISIRDI** – www.lisajoseph.fr

MAQUETTE : **PLANET 7 PRODUCTION**

CONTACT : meb@cdc-biodiversite.fr

PHOTO DE COUVERTURE : © Shutterstock

AVERTISSEMENT: BIODIV'2050 PRÉSENTE LES TRAVAUX EN COURS ET LES AVANCÉES DE LA MISSION ÉCONOMIE DE LA BIODIVERSITÉ. LA RUBRIQUE «TRIBUNE» ET LES DIFFÉRENTS ENCARTS PERMETTENT AUX ACTEURS CONCERNÉS DE DONNER LEUR POINT DE VUE SUR LES SUJETS TRAITÉS. LES PROPOS QUI Y FIGURENT N'ENGAGENT QUE LA RESPONSABILITÉ DES PERSONNES INTERROGÉES.

CITATION DE L'OUVRAGE : CDC Biodiversité et Fondation Rovaltain (2019). Santé et Biodiversité : nécessité d'une approche commune, Mission Économie de la Biodiversité, Paris, France, 52p.





Dr. Maria NEIRA
Directrice du Département
Santé publique, déterminants
sociaux et environnementaux
de la santé à l'Organisation
mondiale de la Santé (OMS)

Quelles actions l'OMS met-elle en place pour développer l'étude et la valorisation des liens entre biodiversité et santé ?

L'OMS joue aujourd'hui un rôle prépondérant dans les décisions politiques internationales en apportant sa contribution et son expertise, mais également en renforçant l'alignement des différents engagements mondiaux (CDB⁽¹⁾, ODD⁽²⁾, Accord de Paris, etc.). À l'interface entre le monde scientifique, les organisations internationales et la société civile, l'OMS est en capacité de travailler via de multiples canaux sur les interrelations entre biodiversité et santé humaine.

En 2005, l'OMS a dirigé l'élaboration de l'un des rapports du *Millennium Ecosystem Assessment (les écosystèmes et le bien-être humain : synthèse sur la santé)*, aujourd'hui considéré comme un travail pionnier visant à décrire les liens complexes entre la préservation d'écosystèmes

naturels et la santé humaine. Il appelle à une prise de conscience globale du secteur de la santé, non seulement pour guérir les maladies inhérentes à la dégradation de la biodiversité, mais aussi pour assurer les bienfaits qu'elle procure tant sur la santé physique que sur le bien-être des populations.

Une autre étape importante a été franchie en 2015, lorsque l'OMS a mené, en partenariat avec la CDB, la réalisation d'un rapport sur l'état des connaissances entre la biodiversité et la santé (*Connecting Global Priorities: Biodiversity and Human Health*). Il consolide les connaissances sur les liens entre biodiversité et santé, par le prisme de la qualité de l'air, de l'eau douce, de la sécurité alimentaire, de la nutrition, des maladies transmissibles, de la médecine traditionnelle, des savoirs autochtones, des avantages immuno-régulateurs potentiels de l'exposition à la diversité microbienne dans l'environnement, etc.

À la 71^e Assemblée mondiale de la Santé en 2018, l'OMS a préparé, à la demande des pays membres, un état des lieux des mesures prises concernant les liens entre santé et biodiversité. Elle soutient que, « conformément au principe de "la santé dans toutes les politiques", les politiques de santé publique doivent chercher à garantir que les effets de la modification de l'écosystème soient évalués et traduits dans les stratégies moyennant la participation de différents secteurs, disciplines et populations locales, comme une occasion de maximiser les bénéfices communs pour la santé et l'environnement [...] ».

Dans le cadre de leur programme de travail conjoint établi en 2012, le Département PHE⁽³⁾ de l'OMS co-préside avec la CDB un groupe de liaison inter-institutionnel sur la biodiversité et la santé (Interagency Liaison group on biodiversity and health). Parallèlement, l'OMS continue de travailler avec de nombreux partenaires pour veiller

à ce que les considérations liées à la santé soient bien intégrées dans le prochain cadre mondial pour la biodiversité post-2020 qui sera adopté en Chine en 2020.

Comment les interrelations entre santé et biodiversité sont-elles appréhendées par l'OMS ?

La santé humaine est déterminée par un ensemble de facteurs environnementaux, sociaux, économiques et génétiques. Dans la vision de l'OMS, la biodiversité est un des déterminants majeurs et une des clefs pour l'obtention d'un meilleur niveau de santé. Toute personne peut faire le constat de cette interrelation forte au quotidien. La biodiversité est en effet le pilier de notre vie sur Terre : les dynamiques de fonctionnement des écosystèmes permettent par exemple de nous nourrir, de boire, de disposer des médicaments dont nous avons besoin. La préservation de la biodiversité est donc une condition *sine qua non* de la protection de la santé humaine.

Il est vrai que les liens entre pathogènes infectieux et espèces hôtes sont complexes : la composition microbienne peut jouer un rôle de régulation essentiel pour une espèce et avoir des effets totalement nuisibles pour une autre. Néanmoins, ce sont tous les changements globaux causés par l'être humain, tels que la déforestation, la surexploitation des ressources, la pollution, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et le développement urbain qui entraînent la propagation des maladies et la perte de biodiversité.

Par exemple, la substitution des forêts primaires riches en biodiversité par des monocultures détruit les habitats et accroît les contacts entre humains et animaux, ce qui favorise l'émergence des maladies. En outre, des facteurs tels que le tourisme mondial, les changements climatiques et l'utilisation d'agents antimicrobiens influent sur le mouvement des pathogènes, la gamme d'hôtes, leur persistance et leur virulence. En d'autres termes, par le biais

(1) Convention sur la diversité biologique

(2) Objectifs du développement durable dans le cadre de l'Agenda 2030

(3) Public Health, Environment and Social Determinants of Health Department

des activités humaines, nous créons les conditions favorables au développement des vecteurs et à l'émergence de maladies.

Toutefois, la charge mondiale de morbidité imputable à l'environnement est désormais dominée par les maladies non transmissibles. Par exemple, on estime qu'environ deux milliards de personnes souffrent de carence en nutriments. La consommation de denrées alimentaires transformées de mauvaise qualité et le manque d'activité physique ont contribué à une émergence marquante de l'obésité et des maladies chroniques qui y sont associées.

Enfin, le bien-être mental est un axe de la santé qui doit également faire l'objet d'une attention particulière. La dynamique d'effondrement actuelle de la biodiversité peut avoir des impacts majeurs sur celui-ci. Par exemple, les désastres naturels qui se multiplient et l'exploitation de certaines ressources entraînent des migrations violentes et forcées, sources de stress et de perte de bien-être. Chez certains peuples, le bien-être est aussi lié à des valeurs culturelles que la destruction de la biodiversité met en danger. En milieu urbain, le manque de nature et la déconnexion des hommes à leur environnement conduit à une augmentation des maladies chroniques et à des déséquilibres du bien-être mental. Il est désormais urgent d'agir pour renaturer les villes et y améliorer notamment la qualité de vie.

Au siècle dernier, nous avons fait d'énormes progrès en matière de santé, d'espérance de vie et de sécurité alimentaire. Mais ces gains importants se sont réalisés au détriment de la santé des écosystèmes. Au regard de la dynamique d'effondrement de la biodiversité, nous ne sommes pas à l'abri d'un déclin du niveau de santé. Quand les écosystèmes se dégradent et que le changement climatique s'intensifie, on ne peut qu'observer un impact négatif sur la santé publique.

Afin de mieux comprendre ces dynamiques, il est nécessaire de développer une collaboration inter-sectorielle (agricultu-

re, santé, environnement) et d'adopter des démarches holistiques, telles que l'approche « *One Health*⁽⁴⁾ ». Celle-ci doit être appliquée de manière plus systématique et inclusive, en tenant dûment compte des facteurs en amont de l'émergence de la maladie et en mettant davantage l'accent sur la prévention et la surveillance.

Il est ainsi possible de prévenir les maladies et de réduire la perte de biodiversité en s'attaquant à leurs causes communes (changement d'usage des sols, dérèglement climatique, introduction d'espèces invasives), ainsi qu'en préservant et restaurant la diversité biologique.

Quels sont les grands enjeux à porter pour permettre une meilleure appréhension des interdépendances entre santé et biodiversité ?

La question de la recherche scientifique est primordiale pour approfondir notre compréhension des dynamiques liant biodiversité et santé. Cette recherche doit être interdisciplinaire pour identifier des solutions intégrées et applicables. Les résultats doivent être portés par les décideurs pour mettre en place un éventail de mesures pour la préservation de la biodiversité et l'atténuation du changement climatique, tout en maximisant les bénéfices pour la santé.

Par exemple, la protection des forêts peut contribuer simultanément à la préservation des écosystèmes, à la régulation du climat, à la réduction de la pollution atmosphérique, à la qualité de l'eau et de l'air, mais aussi à l'alimentation, à la fourniture de médicaments, au bien-être culturel et à la santé mentale.

Outre la recherche scientifique, la préservation de la biodiversité doit impliquer et intégrer l'ensemble de la société civile, notamment via des campagnes de sensibilisation. Si les dynamiques sous-jacentes entre santé et biodiversité peuvent

être complexes, un grand nombre de messages peuvent être communiqués de façon simple et claire. Il s'agit par exemple de faire comprendre que la pollinisation est essentielle pour la production d'aliments riches en vitamines et minéraux, que les pesticides que nous utilisons se retrouvent ultérieurement dans la chaîne alimentaire et que la perturbation des habitats a des conséquences probables sur l'émergence de nouveaux agents pathogènes. Ces messages et mesures doivent être bien cadrés, adaptables aux besoins des différentes populations, et mettre en avant les co-bénéfices des mesures de préservation de la biodiversité, d'atténuation du changement climatique et d'amélioration de notre santé.

Au-delà de la sensibilisation, l'accent doit être mis sur l'éducation pour changer durablement notre perception des liens entre biodiversité et santé. Il est par exemple essentiel de développer des outils pour les jeunes médecins et autres professionnels pour donner l'opportunité de s'engager dans la construction d'un avenir durable, tant pour la santé humaine que pour la diversité biologique.

Plus largement, l'enjeu est de réaliser une transition écologique qui soit saine : autrement dit, une transition énergétique saine, une transition de la mobilité saine, une transition de notre façon de produire et consommer saine. Saine, puisque le domaine de la santé est largement en capacité de stimuler la prise de conscience et de provoquer un déclic sociétal.

Les citoyens et décideurs doivent comprendre que lorsque l'on parle de biodiversité, on parle aussi de leur santé et de leur bien-être. Pas seulement pour les générations futures, mais aussi pour les générations présentes. Notre génération est déjà en train de pâtir des effets de la dynamique d'effondrement de la biodiversité, c'est à nous de nous saisir de ces enjeux dès à présent. ■

(4) Approche intégrée et systémique de la santé humaine, de la santé environnementale et du bien-être animal

COMPRENDRE

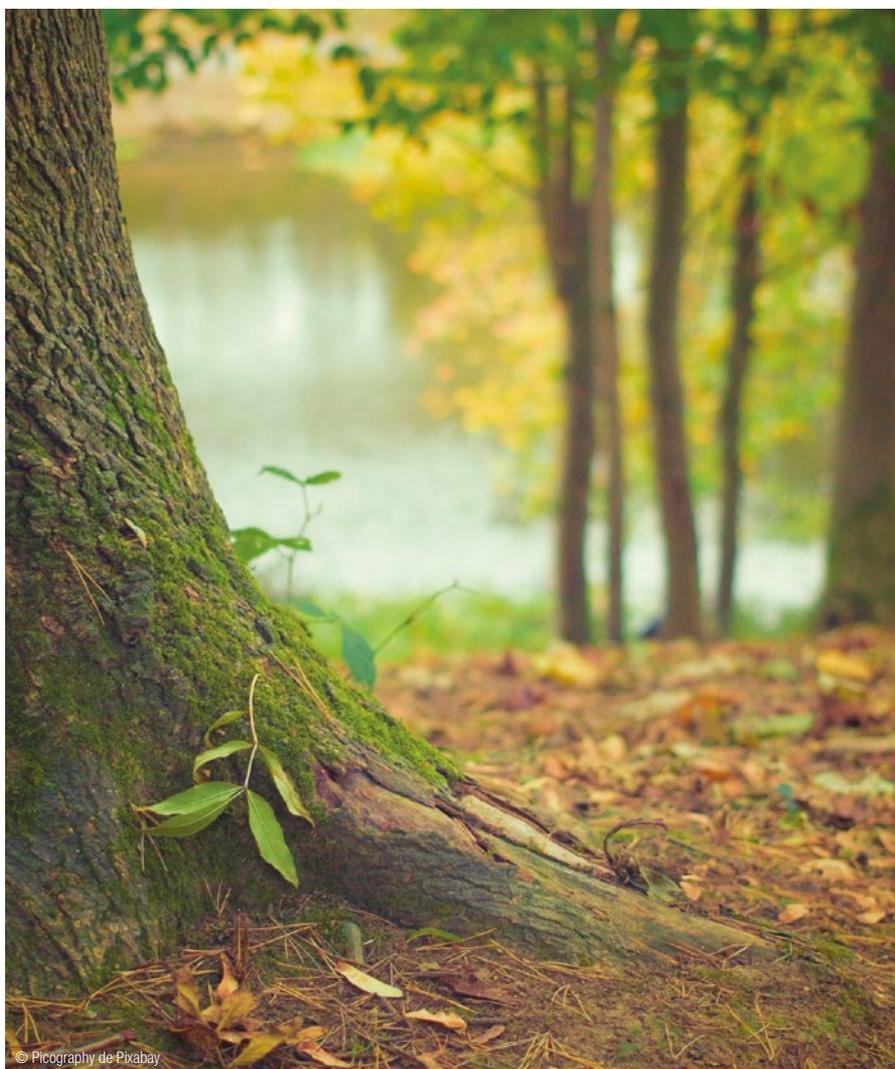
PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ POUR PRÉSERVER LA SANTÉ HUMAINE

« La possession du meilleur état de santé qu'il est capable d'atteindre constitue l'un des droits fondamentaux de tout être humain » (OMS, 1946). Tel est l'un des principes cités dans la Constitution de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), qui œuvre en faveur de la santé publique depuis 1948, sous l'égide de l'Organisation des Nations unies (ONU).

Aujourd'hui, les mutations rapides et les changements globaux qui se produisent à travers le monde fragilisent et perturbent le fonctionnement des écosystèmes, accroissant ainsi les risques sanitaires et montrant le caractère essentiel de l'environnement pour la santé humaine.

La dynamique d'effondrement de la biodiversité joue un rôle prépondérant dans l'augmentation des risques liés à la santé humaine. L'OMS et la CDB mettent en garde contre cette érosion, expliquant que « *biodiversité et santé humaine [...] sont interconnectées de différentes manières* » et que « *les facteurs de perte de biodiversité affectent directement la santé humaine* » (Romanelli et al., 2015). À Hyderabad (Inde), la COP11 de la CDB a souligné que « *le rythme actuel de perte de biodiversité pourrait potentiellement avoir des conséquences graves et entraver les efforts pour atteindre de nombreux objectifs de développement, particulièrement ceux liés à la pauvreté, la faim et la santé* » (CBD, 2012).

L'exploitation de nouveaux milieux naturels, les changements d'usage des sols, la déforestation, la multiplication des monocultures extensives, la désertification ou encore la dégradation de zones humides sont autant de vecteurs par lesquels la dynamique d'effondrement de la biodiversité impacte la santé humaine.



© Pictography de Pixabay

Le phénomène est d'autant plus alarmant qu'il existe de multiples interrelations et rétroactions avec le changement climatique, l'urbanisation et la mondialisation des échanges, qui s'intensifient et entraînent une fragilisation des écosystèmes et une recrudescence des risques pour la santé humaine. Déjà les Grandes découvertes soulevaient l'impact conséquent des déplacements humains dans la diffusion des maladies (e.g. la propagation du choléra en Amérique par les Européens). Désormais, **les échanges mondiaux de biens et l'accroissement**

de la mobilité humaine intercontinentale entretiennent la dynamique de transmission et de propagation des épidémies à travers le globe (CGEDD, 2013).

L'urbanisation est un enjeu croissant, les populations se concentrant dans les villes pour des raisons socio-économiques. Au regard de l'ampleur du phénomène (55% de la population mondiale vivait dans une zone urbanisée en 2018, et ce chiffre s'élèvera à 68% en 2050) (United Nations, 2019), la question de la santé en zone urbaine et péri-urbaine devient une préoccupation importante. Bien que

cette urbanisation puisse supposer un meilleur accès aux soins et au système de santé, elle pose de nombreuses problématiques quant à la favorisation de la dissémination des maladies, la pollution de l'air, la sédentarisation des populations, la disparition des savoirs traditionnels ruraux, le stress accru, l'augmentation des inégalités sociales, etc.).

Le changement climatique lié aux activités anthropiques est aujourd'hui avéré, et les bouleversements qu'il entraîne sont d'ores et déjà perceptibles : succession de records de chaleur, fonte des glaces émergées et dilatation thermique, acidification des océans, intensification des phénomènes extrêmes, etc. (IPCC⁽¹⁾, 2018). Le changement climatique affecte directement la santé humaine via de nombreux canaux : stress thermique, contamination des eaux, malnutrition, risques sanitaires liés aux catastrophes, risques épidémiques, qualité de l'air, conséquences psychosociales dues aux événements extrêmes, etc. (IPCC, 2014).

L'étude s'inscrit dans un contexte global d'augmentation des dépenses courantes de santé, qui s'établissent en 2018 à 275,9 milliards d'euros, soit 19,5% de plus qu'en 2009 (Cf. Figure 1).

Ces dépenses courantes de santé sont assumées à 75% par la Sécurité sociale (DREES, 2019), et à 25% par les mutuelles, les sociétés d'assurance et les institutions de prévoyance (34 790 milliards d'euros, soit 12,6%), les ménages (14 430 milliards d'euros, soit 5,2%) et l'État et les collectivités (13 918 milliards d'euros, soit 5%) (Cf. Figure 2).

L'Assurance maladie a publié en juillet 2019 un rapport intitulé « améliorer la qualité du système de santé et maîtriser les dépenses : propositions de l'Assurance maladie pour 2020 » (CNAM, 2019). Celui-ci met en avant certaines pathologies dont le poids est particulièrement important dans les dépenses d'assurance maladie : la santé mentale (20,3 milliards d'euros), les cancers (15,6 milliards d'euros) et les maladies cardio-neurovasculaires (14 milliards d'euros).

(1) Intergovernmental Panel on Climate Change - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en français

Figure 1 : Évolution de la dépense courante de santé entre 2009 et 2019 en France, en milliards d'euros (adapté des données de la DREES, 2019)

	2009	2018	Évolution entre 2009 et 2018 (en %)
Consommation de soins et de biens médicaux	169,9	203,3	+19,7
Soins de longue durée	16,6	22,8	+37,3
Indemnités journalières	12,1	15,1	+24,8
Autres dépenses en faveur des malades	0,4	0,8	+100
Prévention institutionnelle	6,4	6,1	-4,7
Dépenses en faveur du système de soins	11,9	12,1	+1,7
Coûts de gestion de la santé	13,6	15,7	+15,4
Total des dépenses courantes de santé	230,9	275,9	+19,5

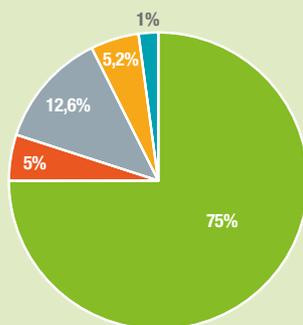


Figure 2 : Dépense courante de santé par type de financeur en 2018 (adapté des données de la DREES, 2019)

■ Sécurité sociale
 ■ État et collectivité
 ■ Mutuelles, sociétés d'assurance et institutions de prévoyance
 ■ Ménages
 ■ Autres

Si une augmentation de la dépense totale de soins est attribuée à l'accroissement du nombre de personnes bénéficiant du régime général et au vieillissement de la population, il n'est nullement fait état des causes des maladies et du rôle des facteurs environnementaux dans l'augmentation des dépenses d'assurance maladie. Pour Cicotella (2018), « il est nécessaire aujourd'hui de comprendre que la solution passe par le développement d'une politique ambitieuse de santé environnementale, c'est-à-dire une politique qui s'attaque aux causes des maladies ».

L'objectif de ce chapitre est ainsi de mettre en évidence les relations étroites entre la biodiversité et la santé humaine, afin d'éclairer les acteurs sur le rôle de la biodiversité dans la diminution du recours aux soins et des coûts portés par la société.

Nous prenons comme point de départ la définition de la santé selon l'OMS : « un état de complet bien-être physique, mental et social, qui ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité. »⁽²⁾ (OMS, 1946) et parcourons (i) les interdépendances entre la biodiversité et les maladies, qu'elles soient infectieuses ou chroniques, et le rôle de la biodiversité dans la fourniture de médicaments. L'étude se concentrera ensuite sur (ii) la participation de la biodiversité au bien-être physique, en lien avec la satisfaction des besoins de l'être humain (qualité de l'air, eau et alimentation). Enfin (iii) les bienfaits de la biodiversité sur le bien-être mental (bénéfices psychologiques, cognitifs, et culturels) et le bien-être social seront traités.

(2) Si cette définition a pu être critiquée comme étant trop globale, trop idéaliste et non opérationnelle, elle permet de définir le cadre de réflexion d'une analyse des liens entre santé et biodiversité

1 - Biodiversité et maladies : enjeux préventifs et curatifs de la biodiversité

Afin d'étudier les liens entre biodiversité et maladies, nous distinguerons ici deux catégories de maladies pour lesquelles les interactions avec la biodiversité divergent (sans entrer dans les détails de l'épidémiologie) :

→ **Les maladies infectieuses**, directement provoquées par des organismes vecteurs, notamment des micro-organismes (bactéries, virus, *etc.*). Les hépatites, la rougeole et la tuberculose font partie de ces maladies infectieuses.

→ **Les maladies non infectieuses (chroniques)**, causées par certains facteurs allant des prédispositions héréditaires aux modes de vie

contemporains (mucoviscidose, diabète, hypothyroïdie, allergies, cancers, maladies cardiovasculaires, *etc.*).

La répartition entre maladies infectieuses et chroniques à l'échelle mondiale est très hétérogène. Si 53% de la mortalité totale est due aux maladies infectieuses dans les pays du Sud, celles-ci ne représentent que 2% de la mortalité dans les pays du Nord, où les maladies chroniques prédominent (allant jusqu'à 88% de la mortalité totale) (Cf. Figure 3).

Les relations complexes entre biodiversité et maladies infectieuses

Dans un milieu naturel, la maladie infectieuse est un processus écologique qui s'inscrit dans la dynamique des écosystèmes. Les micro-organismes ayant trouvé une niche écologique à occuper, en provoquant des infections, peuvent contribuer à la sélection naturelle des êtres vivants les plus robustes et à

la suppression d'individus (ainsi que de leurs gènes) susceptibles de causer une épidémie dans une population (Acevedo-Whitehouse *et al.* 2003).

Dans ce contexte, c'est plutôt la perte de biodiversité induite par les activités humaines qui est à l'origine d'une progression des maladies infectieuses à l'échelle mondiale (Morand, 2015). En multipliant les actions qui contribuent à l'érosion de la biodiversité et en s'appropriant des territoires jusque-là sauvages, l'être humain est davantage en contact avec la faune (domestique ou sauvage) et la flore (auxquelles il n'était auparavant pas confronté), perturbe les dynamiques des agents infectieux, modifie la composition des communautés de végétaux et d'animaux et fragmente considérablement les habitats (Morand et Figuié, 2018). La détérioration des milieux naturels par les activités humaines et la prédominance de l'être humain entraînent un dérèglement des milieux et donc la recrudescence des maladies infectieuses.

Celles-ci sont un véritable fléau pour la santé humaine. En 2016, les infections respiratoires aiguës, les maladies diarrhéiques et la tuberculose étaient parmi les 10 causes majeures de mortalité dans le monde (WHO⁽³⁾, 2018b). Sur l'ensemble des maladies infectieuses, 60 à 70% d'entre elles proviennent d'animaux sauvages ou domestiques (Jones, 2008). Parmi les maladies infectieuses, ces zoonoses⁽⁴⁾ sont responsables de 2,5 milliards de cas déclarés chaque année, et de 2,7 millions de décès (Grace *et al.*, 2012).

Comme le souligne la figure 4, il est possible de mettre en évidence de nombreux facteurs responsables de l'émergence de maladies infectieuses à travers le monde (Loh *et al.*, 2015).

Figure 3 : Dépendance entre niveau de revenu des pays et mortalité estimée par type de cause (selon WHO, 2018a)

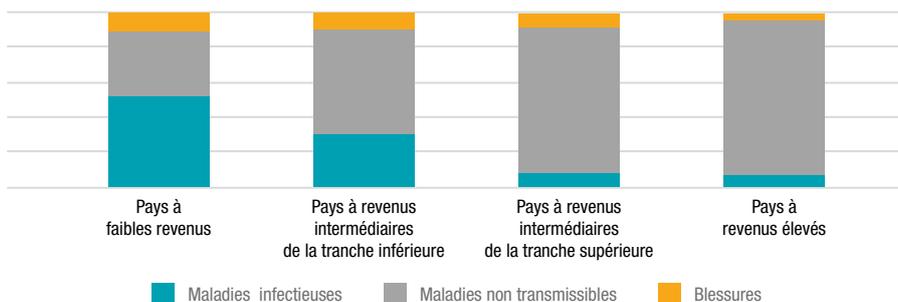
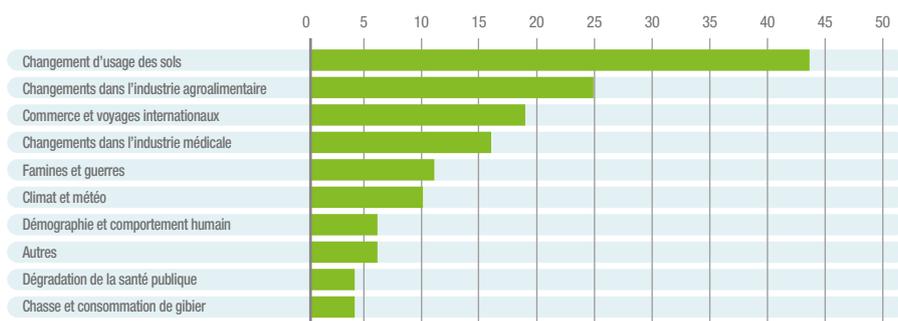


Figure 4 : Nombre de maladies infectieuses émergentes par type de facteur (adapté de Loh *et al.*, 2015)



(3) World Health Organization - Organisation mondiale de la Santé (OMS) en français

(4) Maladies et infections dont les agents se transmettent des animaux vertébrés à l'être humain

Biodiversité, élevage et maladies infectieuses

Serge Morand

Écologue de la santé, Directeur de Recherche au CNRS et au CIRAD, Professeur invité à la Faculté de Médecine Tropicale, Université Mahidol, Bangkok, Thaïlande

La biodiversité, source des maladies infectieuses

L'immense majorité des maladies infectieuses qui touchent les êtres humains sont issues des animaux domestiques et sauvages. Ces dernières décennies ont été marquées par l'émergence de nouvelles maladies infectieuses associées aux rongeurs (virus de la fièvre de Lassa, virus monkeypox), aux chauves-souris (virus Ebola, virus Hendra), aux oiseaux (virus H5N1) ou encore aux primates non-humains (virus du sida, virus Zika) (Morand, 2016).

Si la diversité des maladies infectieuses dépend de la diversité des animaux (un pays riche en biodiversité est un pays riche en maladies infectieuses), le nombre total d'épidémies de maladies infectieuses est au contraire corrélé avec le nombre d'espèces d'oiseaux et de mammifères en danger d'extinction par pays. La biodiversité peut être source de maladies infectieuses, mais toute perte de biodiversité augmente les risques épidémiques. Une explication est à rechercher dans les modifications des interfaces (usage des terres, intensification agronomique, urbanisation) et des contacts entre animaux domestiques, animaux sauvages et êtres humains. Les études empiriques montrent que les communautés animales riches en espèces contribuent à réduire la transmission des maladies infectieuses zoonotiques, un phénomène appelé « effet de dilution » et présenté comme un service écosystémique de régulation des maladies (Morand et Figuié, 2016 ; Morand et Lajaunie, 2017).

La domestication animale historiquement à l'origine de nos principales maladies infectieuses

Les animaux et les plantes ont été domestiqués à grande échelle il y a environ 12 000 ans lors de la révolution néolithique. La domestication a entraîné des changements importants dans la nutrition et la santé humaine. Elle s'est

accompagnée de l'apparition de nouvelles maladies infectieuses pour les humains comme la rougeole, les oreillons, la variole, les gripes, *etc.* Le nombre de maladies infectieuses et parasitaires partagées entre animaux domestiques et humains est directement proportionnel au temps de domestication. Nous partageons ainsi plus de maladies infectieuses avec le chien, la vache ou le cochon, domestiqués respectivement entre 17 000 ans et 10 000 ans, qu'avec le lapin qui n'a été domestiqué que depuis 2 000 ans. Les humains et leurs animaux domestiques forment une communauté de partage de maladies infectieuses qui s'est établie sur le long terme, et qui continue à s'enrichir en nouvelles infections. Notre santé dépend alors de la bonne santé de nos animaux domestiques (Morand *et al.*, 2017).

Ceux-ci sont également des passerelles pour les pathogènes et parasites hébergés dans les animaux sauvages : c'est ce qu'on appelle « l'effet d'amplification ». De nombreuses maladies infectieuses émergentes, dont les agents infectieux sont issus de la faune sauvage, se propagent d'abord chez les animaux domestiques qui agissent ensuite comme des amplificateurs auprès des humains. Le virus Nipah (chauves-souris et cochons d'élevage en Malaisie), le virus Hendra (chauves-souris et chevaux en Australie) et le virus mers-cov (chauves-souris et dromadaires dans la péninsule arabique) en sont des exemples.

Des prévisions inquiétantes

Les prévisions d'intensification de l'élevage ne sont pas une bonne nouvelle pour la biodiversité. Davantage de terres vont être converties pour nourrir ces animaux, comme en Amazonie avec l'extension des cultures de soja pour le marché international. Plus de ressources en eau mais aussi plus de pesticides vont être utilisés pour accroître les rendements de ces productions. De même, pour faire face aux risques sanitaires liés à l'augmentation des concentrations animales, plus d'antibiotiques vont être utilisés.

L'emprise mondiale de l'élevage et de l'agriculture augmente les contacts avec une faune sauvage de plus en plus dépossédée de ses habitats naturels et donc les risques infectieux zoonotiques, en particulier pour les communautés

rurales traditionnelles. Face à une biodiversité en crise et un élevage en expansion, la transmission des zoonoses est favorisée à la fois par les pertes d'effet de dilution dépendant d'une faune sauvage de moins en moins diversifiée et par les gains d'effet d'amplification d'un élevage de plus en plus important.

Les pratiques agricoles industrielles concourent également à une diminution spectaculaire des ressources génétiques, liée à l'homogénéisation génétique mondiale des races animales et végétales (FAO⁽¹⁾, 2015). On sait pourtant qu'une diversité génétique élevée protège contre la propagation des pathogènes. Une espèce animale ou végétale caractérisée par une faible diversité génétique est plus sensible aux épidémies de grande ampleur. L'effet de dilution se retrouve donc aussi à l'échelle des populations.

Les réponses actuelles aux crises sanitaires préparent de nouvelles crises

Le monde va de crises sanitaires en crises sanitaires et les réponses apportées sont toujours les mêmes. L'éradication par l'abattage massif est présentée comme l'unique mode de gestion en urgence de la crise et la biosécurité comme l'antidote aux nouvelles crises. Les mesures préconisées par les autorités sanitaires vont de l'interdiction de reconstituer les élevages avec des races locales au re-stockage par des races génétiquement homogènes sélectionnées par la recherche agro-industrielle. L'impact de la grippe aviaire en Thaïlande s'est traduit par une baisse de la diversité génétique des races locales de poulets consécutive à la gestion biosécuritaire de la crise sanitaire (Duangjinda *et al.*, 2012). Ce n'est pas le virus H5N1 qui a diminué la diversité génétique des poulets locaux, mais bien l'application de certaines politiques de santé promues par les organisations internationales.

Une réflexion urgente doit être menée pour mieux anticiper et éviter les crises sanitaires en promouvant des solutions bio-inspirées respectueuses de la biodiversité sauvage et domestiquée ainsi que de l'élevage traditionnel.

(1) Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

→ Parmi les déterminants les plus significatifs, deux d'entre eux entretiennent des interactions directes avec la biodiversité :

→ Le changement d'usage des sols, qui contribue à l'émergence de 43% des maladies infectieuses notamment à travers la déforestation, l'expansion de l'agriculture⁽⁵⁾ et la dégradation des habitats (perturbation des dynamiques des écosystèmes) (Murray *et al.*, 2013) ;

→ Les changements de pratiques des secteurs agricole et agroalimentaire, qui sont responsables de la résurgence de 22% des maladies infectieuses.

La lutte contre le changement d'usage des sols, contre l'artificialisation des espaces naturels et plus largement contre les causes de perte de biodiversité peuvent permettre la mise en œuvre d'actions favorables à la biodiversité et à la santé :

→ La concentration de la population, les conditions sanitaires et l'homogénéisation microbienne (Loutan *et al.*, 2008) entraînent une recrudescence des risques liés aux maladies infectieuses en milieu urbain ;

→ Le phénomène de déforestation dû à l'expansion des activités humaines déconstruit les barrières naturelles entre les réservoirs de maladies et les zones d'activité ou d'habitations. La protection des forêts et les actions de lutte contre la déforestation sont ainsi en mesure de limiter voire annuler la recrudescence de certaines maladies comme la malaria en Afrique (Coluzzi, 1994) et en Amérique Latine (Tadei *et al.*, 1998) ;

→ Le modèle agricole actuel (majoritairement basé sur des monocultures intensives) participe au changement d'usage des sols et donc à la progression des maladies infectieuses. L'objectif est alors de réaliser une transition agroécologique qui favorise les cultures raisonnées, limite l'extension des terres

(5) Ici, l'expansion de l'agriculture fait référence à la seule conversion en espace agricole, tandis que le deuxième point concerne les pratiques agricoles en elles-mêmes.

et réponde aux besoins nutritionnels des populations (Cf. « L'agriculture au carrefour des enjeux biodiversité et santé »).

Protéger et restaurer les fonctionnalités écologiques des écosystèmes peut être un moyen de prévenir et lutter efficacement contre l'émergence de ces maladies infectieuses, à travers **l'effet de dilution** (Cf. Figure 5). Une plus grande richesse spécifique à l'intérieur d'une population serait ainsi à l'origine d'une diminution de la prévalence des maladies infectieuses en son sein. Les études montrent plusieurs mécanismes sous-jacents à cet effet de dilution (Morand et Figuié, 2018) :

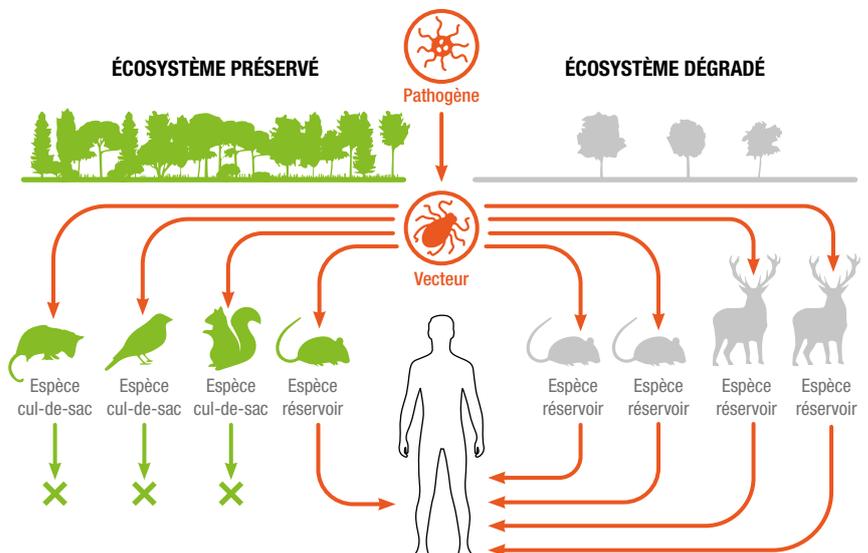
→ L'effet de dilution direct, qui précise que dans un écosystème fonctionnel, des espèces dites « cul-de-sac » peuvent capter le pathogène sans le transmettre ultérieurement, permettant ainsi d'annihiler la propagation de la maladie (Keesing *et al.*, 2006) ;

→ L'effet de dilution indirect, lié à la diminution de l'abondance en espèces vectrices de l'agent pathogène. Une diversité biologique plus grande étant liée à une augmentation quantitative de la diversité spécifique et à une diminution de l'abondance de ces espèces, elle entrave la transmission du pathogène (étant donné la rareté de l'espèce potentiellement hôte).

Un des exemples les plus significatifs concerne la maladie de Lyme, dont la prévalence augmente fortement dans les pays du Nord (20 000 cas aux États-Unis chaque année). Cette zoonose est due à une bactérie (*Borrelia burgdorferi*) transmise par des tiques à des vertébrés (souris à pattes blanches, êtres humains, cervidés, opossums, *etc.*). Une étude (Keesing *et al.*, 2010) a ainsi démontré que les États américains où la diversité en petits mammifères est la plus importante font l'objet d'une moindre prévalence de la maladie de Lyme. Là où les écosystèmes sont préservés ou restaurés, on observe ainsi un nombre important de mammifères, dont certains sont des espèces « cul-de-sac » ne transmettant pas la maladie, permettant ainsi de « diluer » le risque d'infection. Dans un écosystème dégradé ou fragmenté, la diversité en petits mammifères diminue, laissant place à la souris à pattes blanches, espèce généraliste capable de s'adapter à toutes sortes de milieux et espèce-réservoir de la maladie de Lyme.

Les avancées scientifiques concernant les dynamiques fonctionnelles des écosystèmes offrent de nouvelles pistes de réflexion. La maladie de Lyme coûterait en effet entre 712 millions et 1,3 milliards de dollars chaque année au système de santé américain (Adrion *et al.*, 2015).

Figure 5: Illustration de l'effet de dilution (adapté de Wood et Lafferty, 2013)





La forêt tropicale, à la fois source d'une diversité biologique foisonnante et de maladies infectieuses émergentes
© Antonio Doumas de Pixabay

Bien que l'évaluation des coûts engendrés par une maladie infectieuse soit difficile à réaliser, elle apparaît essentielle pour justifier les mesures de prévention. Les coûts de prévention sont la plupart du temps bien moindres que les coûts de traitement d'une maladie une fois déclarée. Au-delà des conséquences en termes de hausse de la mortalité, les maladies infectieuses ont des impacts indirects non négligeables sur la société : perte d'autonomie progressive, isolement, mal-être, prise en charge informelle, absentéisme scolaire ou professionnel, *etc.* (Keller, 2012).

Des travaux soulignent cependant l'imprévisibilité des conséquences de l'introduction d'une espèce dans un écosystème. À titre d'illustration, l'introduction d'une espèce « cul-de-sac » pourrait, par effet de causalité, augmenter la transmission globale du pathogène en affectant durablement les fonctionnalités d'un écosystème. Néanmoins, les

avancées de la recherche montrent que lorsque la diversité spécifique augmente, les dynamiques fonctionnelles tendent, en moyenne, à diminuer la transmission des maladies infectieuses (Roche et Guégan, 2011).

Il est à noter que les causes de la dynamique d'effondrement de la biodiversité et de la recrudescence des maladies infectieuses sont similaires et majoritairement d'origine anthropique : changement climatique, déforestation, urbanisation, exploitation des ressources, monocultures intensives, *etc.* Il est donc possible d'en appréhender les grands enjeux à travers des réflexions communes (Romanelli *et al.*, 2015). On observe ainsi la montée en puissance de l'approche « *One Health* », qui vise la création d'une stratégie mondiale de collaboration interdisciplinaire entre les domaines de la santé humaine, santé animale et santé de l'environnement.

Au-delà des facteurs d'émergence des maladies infectieuses en lien avec

la biodiversité, une action collective et cohérente doit être engagée pour lutter efficacement contre la propagation de ces maladies à l'échelle internationale. Il serait ainsi nécessaire d'agir sur les flux du commerce mondial et les voyages internationaux. La demande en produits issus de la mondialisation entraîne une augmentation des terres cultivées (et donc une déforestation accrue), une perte de biodiversité importante ainsi que le transport de marchandises parfois contaminées. Limiter quantitativement le commerce mondial et redynamiser les cultures locales permettrait alors un ralentissement de la transmission des maladies infectieuses.

Si la lutte contre les maladies infectieuses se poursuit et demande une réflexion autour de leurs facteurs d'émergence, la question de la progression des maladies chroniques préoccupe de plus en plus à l'échelle mondiale.

→ Biodiversité et prévention des maladies chroniques

20 millions de français sont aujourd'hui concernés par des maladies chroniques (CNAM, 2019), ce qui correspond à des dépenses annuelles de 84 milliards d'euros, soit 60% des dépenses totales de santé en France (CNAM, 2018). Le terme d'« *épidémie* » est désormais employé pour décrire la multiplication de ces maladies chroniques, alors qu'il concernait initialement les maladies infectieuses (Cicoella, 2018).

Les maladies chroniques trouvent leur origine dans deux grandes catégories de facteurs :

- Les facteurs de base : âge, sexe, génétique ;
- Les facteurs comportementaux (de plus en plus homogènes en raison de la standardisation globale des modes de consommation) : tabagisme, alcool, fragilisation du système immunitaire (et du microbiote), malnutrition, surpoids et manque d'activité physique.

La biodiversité peut prévenir l'apparition de maladies chroniques ou en réduire leurs effets, notamment à travers (i) le microbiote et le renforcement du système immunitaire, (ii) les pratiques alimentaires et habitudes nutritionnelles et (iii) la lutte contre l'inactivité physique⁽⁶⁾.

Renforcer la diversité au sein de notre corps : l'approche par le microbiote

Selon la CDB, un écosystème est un « *complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes (biocénose) et de leur environnement (biotope) qui, par leur interaction, forment une unité fonctionnelle* ». L'être humain peut ainsi être assimilé à un écosystème, dont le corps humain (biotope) offre les conditions physico-chimiques nécessaires à la vie pour d'autres êtres vivants (biocénose). On

(6) Le surpoids peut être étudié à la fois par le prisme de la malnutrition et du manque d'activité physique.



parle alors d'« holobionte » pour désigner l'ensemble constitué par un organisme et les micro-organismes présents en son sein (Selosse, 2016).

Le microbiote humain désigne, selon l'Inserm⁽⁷⁾, l'ensemble des micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons non pathogènes) qui vivent dans l'environnement spécifique qu'est le corps humain. Dès notre naissance, nous vivons en symbiose avec des centaines de milliards de micro-organismes. Nous les retrouvons jusqu'au plus profond de nos organes qu'ils colonisent (tube digestif, peau, nez, oreille, vagin, bronches, etc.). Le microbiote intestinal est le plus important d'entre eux, rassemblant 10^{12} à 10^{14} micro-organismes (Inserm, 2016). Au sein de

(7) Institut national de la santé et de la recherche médicale

cette population, on estime à environ un millier le nombre d'espèces de bactéries (El Kaoutari *et al.*, 2014). Cette diversité illustre la capacité d'adaptation des micro-organismes, fruits de l'évolution depuis leur apparition sur Terre il y a près de 4 milliards d'années (David, 2012).

Il est aujourd'hui démontré que le microbiote a un rôle prépondérant dans les fonctions digestive, métabolique, immunitaire et neurologique. L'impact du microbiote sur le développement et le façonnage des réponses immunitaires continue de faire l'objet de nombreux travaux visant à démontrer le caractère dynamique du dialogue entre l'hôte et son microbiote (Gaboriau-Routhiau et Cerf-Bensussan, 2016). L'évolution combinée de l'être humain et son microbiote a permis la création d'interactions essentielles pour ce dernier (Dethlefsen *et al.*, 2007).

Biodiversité, asthme et allergies

Isabella Annesi-Maesano, Épidémiologiste des maladies allergiques et respiratoires, IPLESP, INSERM et Sorbonne Université. Faculté de Médecine Saint-Antoine, Paris.

Depuis plus de 40 ans, la fréquence des cas d'asthme et d'allergie a tellement augmenté qu'ils posent désormais un important problème de santé publique. À ce jour, jusqu'à 30% de la population a déjà souffert ou souffre d'une manifestation clinique d'allergie (asthme, rhinite allergique, eczéma, urticaire, allergie alimentaire, allergie médicamenteuse, etc.), et ce chiffre atteindra 50% en 2050 d'après l'OMS. Il est donc logique de se poser des questions sur les mécanismes expliquant cette tendance afin d'organiser, dans la mesure du possible, des mesures préventives. Le terrain génétique n'ayant pas subi de modifications substantielles durant les derniers siècles, c'est du côté des facteurs environnementaux qui se sont modifiés de manière considérable dans les dernières décennies que l'on trouve l'explication de l'augmentation de la fréquence de l'asthme et des allergies.

C'est dans ce contexte que s'insère « l'hypothèse de la biodiversité », selon laquelle la perte de biodiversité et/ou la diminution du contact de l'individu à celle-ci appauvriraient son système immunitaire et favoriseraient ainsi le développement de plusieurs maladies inflammatoires dont les allergies.

Les êtres humains sont protégés par deux couches imbriquées de biodiversité : celle de la couche externe (sol, eaux naturelles, plantes, animaux, etc.) et celle de la couche interne (au sein des

organes). Ce sont les variations dans ces deux couches et notamment dans leurs microbiotes qui sont à l'origine des problèmes de santé, par le biais de modifications de la réponse immunitaire. La réduction du contact des personnes avec la biodiversité peut affecter négativement le microbiote commensal⁽¹⁾ humain en engendrant un déséquilibre de l'écosystème bactérien (dysbiose) dans plusieurs organes dont ceux qui sont la cible des allergies (comme l'intestin, les poumons, les voies aériennes supérieures, la peau, etc.), ce qui peut affecter leurs capacités immunomodulatrices.

L'explosion des populations humaines et de leurs besoins et l'évolution culturelle, en transformant profondément notre environnement et nos modes de vie, sont à l'origine de la rupture de l'équilibre entre les deux microbiotes. Si le changement climatique causé par les activités anthropiques endommage la biodiversité, l'urbanisation et la fragmentation des habitats conduisent de plus en plus à une perte de connexion entre l'environnement humain et les milieux naturels.

L'hypothèse de la biodiversité est basée sur l'observation directe que la perte de biodiversité et l'augmentation de l'incidence des maladies inflammatoires sont interconnectées. Dans le cas de l'asthme et des allergies, plusieurs études écologiques et épidémiologiques

montrent que la fréquence de l'asthme et des allergies augmente en particulier dans les pays occidentaux (en raison de l'urbanisation), alors que celle-ci reste plus rare dans les pays en développement ou dans les zones rurales. En effet, les microbiotes urbain et rural diffèrent de façon significative en termes d'abondance et de composition. Il a été suggéré qu'une exposition accrue aux microbes et aux champignons dans les milieux ruraux et naturels protégeraient contre le développement de l'asthme et des maladies allergiques. D'autres données suggèrent que si l'asthme et les allergies infantiles sont globalement moins fréquents en présence d'espaces de nature, cette relation dépend de la proximité et du type de milieu.

Plusieurs facteurs environnementaux peuvent moduler le microbiote humain en agissant comme des facteurs de protection (par exemple le régime alimentaire) ou de risque (par exemple le stress ou les antibiotiques). Ceux-ci doivent être pris en compte dans les actions de prévention des populations.

La préservation de la biodiversité et nos liens avec celle-ci devraient également constituer une priorité pour les professionnels de la santé. En cela, l'hypothèse de la biodiversité a un impact sociétal et doit faire partie intégrante de la planification urbaine, de la production alimentaire et énergétique et de la conservation de la nature.

(1) L'hôte habituel d'un organisme qui ne cause pas de dommages

Un microbiote en état fonctionnel, composé de micro-organismes efficaces, peut ainsi avoir de nombreux bénéfices pour l'être humain (Armand, 2013) :

- Barrière contre les micro-organismes pathogènes (De Filippo *et al.*, 2010) ;
- Développement de l'intestin et du système immunitaire (Macpherson et Harris, 2004) ;
- Transformation et métabolisme des nutriments ;
- Stabilisation et robustesse de certaines caractéristiques physiologiques (homéostasie).

Le microbiote humain varie entre les individus selon le milieu, le régime alimentaire, le génotype et la position géographique. Les changements globaux, écologiques et génétiques peuvent altérer la relation entre l'hôte et les bactéries, et ainsi accélérer la progression de maladies (Dethlefsen *et al.*, 2007). Cette altération qualitative et fonctionnelle de la flore intestinale s'appelle la « *dysbiose* ». Son étude est un premier pas vers la compréhension de l'origine de certaines maladies chroniques, qui pourraient ainsi s'expliquer par l'altération du microbiote. Par exemple, la dégénérescence liée à

l'âge donne lieu à un certain nombre de symptômes dont beaucoup sont associés à la diminution de la diversité biologique de la flore intestinale. Même si jusqu'à présent les liens entre microbiote intestinal et processus de vieillissement ne sont que partiellement expliqués, des travaux portant sur la compréhension des mécanismes sous-jacents et l'amélioration de l'état de santé des personnes âgées sont prometteurs (Rosique *et al.*, 2018). Plusieurs leviers existent pour régénérer le microbiote et les fonctions associées favorables à son équilibre.

→ **L'amélioration et la diversification de l'alimentation** sont des premiers pas vers la stabilité et la restauration du microbiote humain (Chong-Nguyen *et al.*, 2017) (Cf. « La relation alimentation-santé »). Les probiotiques sont des micro-organismes naturellement présents dans certains aliments qui peuvent conférer des bénéfices en matière de santé. Les prébiotiques sont quant à eux des substances naturellement présentes dans certains produits alimentaires favorables à l'activité des probiotiques. Ils peuvent donc permettre de limiter les carences provoquées par certaines habitudes alimentaires et rétablir l'équilibre du microbiote en fournissant les éléments nécessaires aux micro-organismes (Gibson *et al.*, 2017). La diversité du microbiote est ainsi directement corrélée aux choix individuels de consommation. À titre d'exemple, si les probiotiques sont naturellement présents dans certains yaourts et dans les produits fermentés, les prébiotiques se retrouvent principalement dans les fruits, les légumes et le miel.

Alors que les antibiotiques⁽⁸⁾ sont aujourd'hui massivement consommés par les Français (759 tonnes destinées à la santé humaine en 2017⁽⁹⁾), une des solutions serait **de réduire leur consommation et de les utiliser raisonnablement** (en termes de quantité et de fréquence). Les antibiotiques affectent la composition du microbiote à court terme, ce qui nécessite un temps de latence de plusieurs semaines pour retourner à un état de fonctionnalité comparable à l'état avant perturbation. Durant cette période, les agents pathogènes peuvent profiter de la diminution des barrières immunitaires pour s'installer dans l'organisme (Pepin *et al.*, 2005). Au-delà des problèmes de santé qu'ils posent, la consommation excessive d'antibiotiques entraîne l'apparition de résistances de ces micro-organismes aux principes actifs (Cf. « Inventer »), alors même

qu'il existe des solutions naturelles basées sur un apport de bactéries concurrentielles (Cf. « Inventer »).

L'urbanisation a créé un certain nombre de barrières entravant les interactions entre l'être humain et les micro-organismes favorables à sa santé (Dethlefsen *et al.*, 2007). **Augmenter la fréquence des contacts avec la nature** permet au contraire d'apporter de nombreux bénéfices pour l'individu. Les contacts réguliers avec des milieux naturels peuvent permettre de pallier ces manques liés au mode de vie urbain. La réflexion autour de la déconnexion entre êtres humains et diversité biologique renvoie à la question de la recrudescence des maladies allergiques (Cf. Point de vue d'Isabella Annesi Maesano).

Plus globalement, il s'agit d'éviter les situations négatives de stress qui créent des inflammations de la paroi intestinale et réduisent la diversité biologique du microbiote. La biodiversité peut toutefois être une source de solution pour réduire le stress (Cf. « La biodiversité et ses bienfaits sur le bien-être mental »). Une corrélation positive a aussi été observée entre activité sportive et microbiote, mais ces travaux doivent encore être approfondis (O'Sullivan, 2015).

À l'image de l'importance de préserver les écosystèmes planétaires, la diversité biologique au sein de notre microbiome est tout aussi nécessaire à notre pérennité. Cette diversité, encore très peu connue au regard des bénéfices et fonctions qu'elle fournit, devient un enjeu de santé publique majeur pour les années à venir.

La relation alimentation-santé

Historiquement, la malnutrition se traduisait dans les pays du Sud par la sous-nutrition, les famines ou encore l'insuffisance pondérale. Si la sous-nutrition persiste dans certains pays, les problématiques liées à la malnutrition s'homogénéisent entre les pays du Nord et les pays du Sud et deviennent systémiques : alimentation hypercalorique, carencée et

inadaptée aux modes de vie (OMS, 2018a). Selon l'OMS (Dary et Hurrell, 2006), plus de deux milliards de personnes souffrent de cette « faim cachée » liée à une déficience en éléments nutritifs. Les évolutions alimentaires représentent une thématique d'autant plus importante qu'elles sont l'une des principales causes d'accroissement des maladies chroniques, dont l'ampleur et le coût économique et social ont une croissance exponentielle.

Nos choix alimentaires dépendent directement de nos modes de vie (sédentarisation et développement des grandes surfaces), des facteurs socio-culturels (nourriture perçue comme une récompense et un moyen de socialisation), familiaux (mimétisme vis-à-vis des habitudes familiales) et psychologiques (« malbouffe » liée à la dépression, au stress et à l'anxiété) (Sahoo *et al.*, 2015).

À travers **la consommation de produits ultra-transformés et de mauvaise qualité nutritionnelle**, les populations voient leur apport en gras saturé dépasser les seuils recommandés par l'OMS. Ce déséquilibre alimentaire est renforcé par la faible consommation de fruits et légumes. Selon l'OMS⁽¹⁰⁾, à l'échelle mondiale, la consommation insuffisante de fruits et légumes serait responsable de 19% des cancers gastro-intestinaux, 31% des cardiopathies ischémiques et 11% des accidents vasculaires cérébraux.

Les **apports énergétiques excessifs** sont la principale source du développement de l'obésité (Davison et Birch, 2001). Ils sont principalement liés à une consommation excessive d'aliments à valeur nutritionnelle basse contenant un nombre important de calories (*fast foods*, sodas, produits ultra-transformés et *snacks*), ainsi qu'à l'augmentation de la taille des portions (Sahoo *et al.*, 2015). Bien que l'héritage génétique soit un facteur important pour la prédisposition à l'obésité (Anderson et Butcher, 2006), dans la plupart des cas, celui-ci est couplé avec d'autres facteurs

(8) Étymologiquement du grec *anti*: « contre », et *bios*: « la vie »

(9) Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM). Dossier thématique « Antibiotiques » accessible sur <https://www.ansm.sante.fr/Dossiers/Antibiotiques/Bien-utiliser-les-antibiotiques/offset/0>

(10) OMS. Promouvoir la consommation de fruits et légumes dans le monde. Accessible sur <https://www.who.int/dietphysicalactivity/fruit/fr/>

Comment sortir du système agro-industriel ? Un enjeu de santé publique face à la protection de la biodiversité

Hernando Salcedo Fidalgo⁽¹⁾, Médecin, coordinateur de la ligne de nutrition chez FIAN Colombia⁽²⁾, chercheur associé au Groupe de Sociologie Pragmatique et Réflexive (GSPR) de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales.

Le régime alimentaire contemporain globalisé apparaît aujourd'hui comme une nouvelle donne pour les actions de politique publique à mener. Les modes de production agro-industriels dominants, la disruption climatique, la perturbation des écosystèmes, ou encore la consommation de médicaments comme unique solution aux maladies, sont autant de situations à risques qu'il convient de traiter à l'échelle collective afin de sortir du régime agro-industriel (ou corporatiste)⁽³⁾ actuel.

Le système agro-industriel et le droit à l'alimentation

Les produits agro-alimentaires que nous consommons sont majoritairement issus de conglomerats de grandes firmes, qui organisent massivement les choix alimentaires et les modes de commercialisation imposés aux consommateurs. Ce régime agro-industriel provient principalement d'un nombre réduit de producteurs qui limitent et orientent l'offre proposée aux consommateurs. La publicité et le marketing sont des stratégies de base de ce type d'industries afin de commercialiser à grande échelle ce que l'on pourrait qualifier de « mal bouffe ».

L'OMS (2015) a publié une catégorisation qui attribue à ce régime une très haute proportion de « Produits Comestibles Ultra Transformés » (Ultra Processed Food, ou PCUT). Ces produits ont des impacts sur la santé des popula-

tions et les habitudes de consommation. La consommation de PCUT est en effet responsable de l'épidémie d'obésité et de la malnutrition calorique. Ces déséquilibres nutritionnels concourent au développement de risques augmentés de morbidité tels que les syndromes métaboliques, le diabète, les cancers⁽⁴⁾, les maladies cardiovasculaires.

En termes de Droits humains, l'expansion de ce système constitue une violation du Droit Humain à une Alimentation Adéquate et à la Nutrition (DHAAN)⁽⁵⁾.

Le lien entre le système agro-industriel et la biodiversité : une clé pour l'intervention collective

En mai 2019, la revue *Lancet* a publié le rapport EAT, qui démontrait scientifiquement pour la première fois que la perturbation du cycle alimentaire est directement liée aux dysfonctionnements des écosystèmes. Ces écosystèmes en crise sont les récepteurs simultanés de tous les facteurs qui nuisent à l'environnement, parmi lesquels le système agro-alimentaire et ses polluants occupent les premières places. Il semble ainsi s'établir une « résilience inversée »⁽⁶⁾, conduisant les êtres vivants à développer un comportement autodestructeur. Dans le cas des êtres humains, les modes de vie contemporains configurent des pratiques qui pérennisent la dynamique d'effondrement de la biodiversité.

Est-il possible de modifier les effets de cette dépendance alimentaire et de l'institutionnalisation du système ? Il y a un décalage temporel important entre l'urgence d'agir pour éradiquer cette crise alimentaire à court terme, et le temps nécessaire pour inciter ou imposer des changements. Une récente recherche menée par un groupe d'experts de la

FAO propose des scénarios de « systèmes alimentaires », à partir desquels il est possible d'analyser le retour à une alimentation équilibrée. Mais cette transition vitale pour les êtres humains et les écosystèmes ne peut se faire que par la restauration de la biodiversité, ainsi que par le changement des pratiques de production agricole et des circuits de vente.

Cette transition peut répondre au DHAAN à travers le retour à une alimentation plus traditionnelle, le respect de la diversité biologique, et la lutte contre les monocultures. La prise de conscience sociale est possible par la création de liens directs avec les producteurs locaux et par la résistance via le changement de régime alimentaire.

Si on entreprend ce chemin, le problème se pose alors différemment : les individus ne sont plus de simples consommateurs d'aliments mais bien des acteurs contribuant aux choix d'usages du bien commun.

Quelques résultats de recherches

Les problématiques liées à la malnutrition et à l'obésité sont aujourd'hui majeures dans des pays comme le Mexique, la Colombie ou le Brésil. Ces problématiques deviennent alors de véritables enjeux, en particulier pour les jeunes, dont la qualité et l'espérance de vie sont largement influencées par leur alimentation. En Colombie, les régions dans lesquelles les populations atteignent des niveaux critiques d'obésité juvénile sont les régions où les traditions culinaires et agricoles étaient les plus avancées. Ce paradoxe s'explique en partie par la perte des savoirs vernaculaires, liée à l'appropriation par les populations de ce système.

Le problème n'est pas une affaire d'information et de disponibilité de connaissances, mais un problème de droit humain à une alimentation adéquate et à la nutrition et de respect de leurs droits fondamentaux. Le problème global de malnutrition reste lié à une mauvaise allocation des terres et nécessite un retour à des circuits alimentaires diversifiés et locaux.

(1) L'auteur déclare ne pas avoir de conflits d'intérêt avec l'industrie agroalimentaire en tant que chercheur indépendant et membre de FIAN International ; n'avoir jamais reçu de financements pour ses recherches et activités de l'industrie agroalimentaire ni de ses partenaires.

(2) www.fiancolombia.org

(3) Les régimes alimentaires contemporains ont été récemment catégorisés sous l'appellation « corporatistes », faisant allusion à l'implication des grandes entreprises productrices du secteur dans les composantes de la crise environnementale et nutritionnelle (Rodríguez-Muñoz, 2010)

(4) Il est important de rappeler que Cancer Research UK a publié en 2019 l'alerte sur la relation directe entre obésité et cancer qui avait déjà été documentée en diverses occasions auparavant (Lauby-Secretan *et al.*, 2016).

(5) L'acronyme a été introduit par FIAN International au cours de la dernière décennie, depuis que la catégorie nutritionnelle s'est incorporée à la notion de Droit à l'Alimentation tout court. Il a été adapté au français par l'auteur et les éditeurs de cet article. Voir : <http://www.fiancolombia.org/wp-content/uploads/2017/05/fact-sheet-dhana-1.pdf>

(6) Ce terme est inspiré du concept de *non resilience*, créé par l'auteur.

→ environnementaux (dont l'omniprésence de perturbateurs endocriniens) et comportementaux qui ont un effet réel sur l'individu (Chevalier et Fenichel, 2016 ; Anderson et Butcher, 2006). L'inactivité physique et les comportements sédentaires sont aussi importants dans le développement de l'obésité (Cf. « Nature et activité physique »).

Bahuchet *et al.* (2012) soulignent l'importance de la biodiversité dans l'équilibre alimentaire. Si les habitudes alimentaires de nombreuses populations étaient autrefois basées sur la diversité de la faune et la flore locales, les individus s'approvisionnent désormais de plus en plus en produits transformés, directement achetés en grandes surfaces (Smith et Smith, 1999). Par ce manque de diversité dans l'alimentation, les consommateurs développent un nombre grandissant

de complications liés à des carences alimentaires (retards de croissance, morbidité, *etc.*).

Les combinaisons de produits issus de la diversité biologique (végétaux sauvages, céréales, plantes cultivées) sont pourtant en mesure d'apporter les nutriments qui manquent au regard de la consommation actuelle de nourriture (Burlingame *et al.*, 2009). Pour développer une démarche de consommation plus saine, les individus doivent privilégier les productions locales, diversifiées et favorables à la biodiversité (Bellows et Hamm, 2001), afin de combiner impacts positifs sur la santé et la biodiversité.

Le mouvement *slow food* se développe de plus en plus, en parallèle de l'élan global autour du *slow* (*slow tourism*, *slow tech*, *slow made*). Il provient à l'origine d'une association fondée en Italie en 1986 dont l'objectif était de faire évoluer les

consciences vis-à-vis des comportements alimentaires, en prenant le contrepied du *fast food*. L'approche proposée par cette association est depuis devenue un mode de vie adopté par de plus en plus d'individus à travers le monde. L'objectif est de substituer l'alimentation rapide, commerciale et industrialisée par une alimentation plus traditionnelle et saine, basée sur le respect des cycles naturels et de la biodiversité (Jones *et al.*, 2003).

La consommation de produits de mauvaise qualité nutritionnelle, couplée à l'inactivité physique, est aujourd'hui un fléau qui touche un nombre grandissant d'individus. Si les consommateurs doivent réaliser une transition vers une alimentation plus saine et plus « *slow* », il est nécessaire que cette transition soit accompagnée d'une transformation globale des secteurs agricole et agroalimentaire, qui participent activement à la malnutrition (Cf. Point de vue d'Hernando Salcedo).



© Michael Strobel de Pixabay

Nature et activité physique

Alors que l'activité physique était autrefois primordiale pour assurer notre survie, elle n'est aujourd'hui plus nécessaire pour assurer la satisfaction de nos besoins primaires. À l'ère des grandes surfaces, du numérique et des moyens de transport motorisés, la sédentarité se trouve renforcée et conduit à une diminution drastique de l'activité physique (Sittarame et Golay, 2013). En Europe, deux tiers de la population adulte est insuffisamment active et risque des problèmes de santé (Sjöström *et al.*, 2006), alors que les recommandations pour diminuer ces risques sont claires : 30 minutes d'activité modérée (marche, cyclisme, natation, activités de jardinage) au moins cinq fois par semaine pour l'adulte.

L'inactivité physique et ses conséquences en termes d'obésité conduisent à de nombreux risques qui ne s'arrêtent pas aux maladies chroniques (Sittarame et Golay, 2013, adapté de OMS, 2010) :

- ➔ Maladies métaboliques (hypertension artérielle, obésité, dyslipidémies) ;
- ➔ Maladies de l'appareil locomoteur (maladies ostéoarticulaires, arthropathies, ostéoporose, *etc.*) ;
- ➔ Cancers (côlon, sein, poumons)⁽¹¹⁾ ;
- ➔ Troubles mentaux (dépression, trouble de l'humeur).

L'inactivité physique est source de coûts grandissants pour la société. Ding *et al.* (2016) ont estimé à 53,8 milliards de dollars le coût économique de l'inactivité en 2013 dans le monde (58% des coûts étant assumés par la puissance publique, 24% par le secteur privé et 18% par les ménages). À ces coûts doivent être ajoutés les pertes en productivité des travailleurs et l'espérance de vie en bonne santé. Plus largement, l'obésité serait responsable d'un coût économique mondial de 2 000 milliards de dollars par an, expliqué par

(11) Il est important de noter que l'obésité renforce les fonctions carcinogènes des adiposites. En d'autres termes, les masses graisseuses créent un habitat favorable au développement de cancers (Pérez-Hernández *et al.*, 2014)



l'augmentation des coûts de traitement pour l'assurance maladie, par la baisse de productivité (fatigue, manque de concentration, arthrite, dépression) et par l'absentéisme (Dobbs *et al.*, 2014).

Pour favoriser la pratique sportive, l'OMS recommande ainsi de « *veiller à ce que l'environnement physique favorise des déplacements actifs et sûrs, et de créer des espaces pour les activités récréatives* » (2010). Les espaces de nature sont ainsi une solution pour favoriser la pratique sportive (Bird, 2004). L'activité physique ne s'arrête toutefois pas aux pratiques sportives directes, mais concerne un ensemble d'autres activités qui favorisent l'exercice (le jardinage par exemple). Il a aussi été prouvé que le simple fait d'observer des espaces « sauvages » est une source de motivation supplémentaire (Bird, 2004), contrairement au sport en salle qui ne génère pas les mêmes bénéfices.

Owen *et al.* (2004) ont étudié les caractéristiques que les espaces de nature devraient rassembler pour être favorables à la pratique sportive :

- ➔ Être accessibles, à moins de 2km des habitations ou avec un accès facile en moyen de transport ;
- ➔ Être attractifs du point de vue esthétique et paysager, avec idéalement une diversité d'habitats ;
- ➔ Disposer de sentiers sûrs et de trottoirs ;
- ➔ Être calmes, avec peu de trafic à l'intérieur et aux alentours ;
- ➔ Être sûrs et sécurisés.

Des consultations publiques peuvent être réalisées afin de connaître les souhaits des citoyens, notamment sur les usages à développer. La concertation permet d'inclure les habitants dans un projet d'espace vert dans lequel ils seront plus à même de pratiquer une activité physique.

Plus globalement, les conséquences d'une mauvaise alimentation et d'une pratique sportive insuffisante sont relativement semblables et corrélées. Il convient donc d'adopter des comportements et choix de consommation combinant qualité nutritionnelle et activité physique.

→ Médecines traditionnelle et contemporaine : le rôle prédominant de la biodiversité

Enjeux autour de la médecine traditionnelle

L'OMS définit la médecine traditionnelle comme « *la somme de toutes les connaissances, compétences et pratiques reposant sur les théories, croyances et expériences propres à différentes cultures, qu'elles soient explicables ou non, et qui sont utilisées dans la préservation de la santé, ainsi que dans la prévention, le diagnostic, l'amélioration ou le traitement de maladies physiques ou mentales* » (2013).

Depuis toujours, l'être humain identifie les organismes vivants présents sur son territoire et utilise leurs principes actifs à des fins thérapeutiques. Il existe de nombreux exemples de ces utilisations, en particulier dans l'Égypte et la Grèce antique, en Mésopotamie ou encore dans les tribus amazoniennes. Chaque peuple a su disposer de la faune et la flore présentes pour répondre à des besoins de santé : infusions pour les maladies gastriques, baumes pour les plaies ou encore khôl pour le soin des yeux.



Gleditsia sinensis, très utilisé dans la pharmacopée chinoise pour ses propriétés thérapeutiques diverses
© Hans Braxmeier de Pixabay

La médecine traditionnelle repose le plus souvent sur l'utilisation de plantes médicinales, récoltées dans la nature ou cultivées. Les liens entre biodiversité et santé sont ici directs : la diversité des êtres vivants permet la diversité des remèdes et donc davantage de solutions adaptées aux problématiques de santé locales.

Pour 70% à 80% de la population mondiale, les soins de santé primaires sont assurés par des savoirs ou des formes de médecine traditionnelle (Ekor, 2014). Celle-ci est profondément ancrée

dans les cultures et pratiques de certains pays, en raison de son prix abordable comparé au système de santé public (Reading et Wien, 2009). Dans certains cas, la médecine traditionnelle a été institutionnalisée et fait partie intégrante du système de santé public. En prenant en considération les écarts de coût entre médecine contemporaine et traditionnelle, certaines études prônent une approche décentralisée des pratiques, basée sur la diversité culturelle des populations et l'utilisation raisonnée de la diversité biologique (Balabanova *et al.*, 2013).

Il est ici fait référence à la médecine traditionnelle pour laquelle « *la qualité, la sécurité et l'efficacité sont avérées* » et qui « *participent à la réalisation de l'objectif de donner à tous un accès aux soins* » (OMS, 2013). En effet, l'utilisation du vivant dans un but thérapeutique peut faire l'objet de certaines dérives. L'absence de réglementation et la mauvaise utilisation de la médecine traditionnelle peuvent avoir des impacts neutres, voire négatifs sur la santé. Ces effets sont d'autant plus importants que les savoirs liés à la médecine traditionnelle se transmettent de génération en génération et peuvent perdurer dans le temps. À titre d'illustration, le mahuang (*Ephedra sinica*), traditionnellement utilisée en Chine contre les rhumes, sinusites et allergies, a entraîné



© Rebecca Matthews de Pixabay

Le protocole de Nagoya peut-il résoudre les problématiques soulevées par la biopiraterie ?

Catherine Aubertin
*Économiste de l'environnement,
 directrice de recherche à
 l'Institut de recherche pour
 le développement (UMR
 PALOC IRD/MNHN)*

L'accès aux molécules issues des plantes des médecines traditionnelles, souvent utilisées par l'industrie pharmaceutique, est désormais encadré par le protocole de Nagoya entré en vigueur en 2014.

L'objectif de ce protocole, lié à la Convention sur la diversité biologique (CDB), est d'assurer que soient respectés les droits des fournisseurs de ressources génétiques et des savoirs qui leur sont attachés⁽¹⁾. Ce protocole est souvent présenté comme un moyen de répondre aux accusations de biopiraterie qui émergent à partir des années 1980 : il s'agit d'une situation où une ONG accuse une entreprise ou un chercheur d'un pays industrialisé de tirer profit d'une plante aux vertus connues localement sans que n'en profitent ni le pays d'origine, ni les populations détentrices des savoirs utilisés. Ce qui est dénoncé est d'une part l'invisibilité de l'apport des populations autochtones et locales à la recherche médicale, et, d'autre part, les comportements hérités de l'époque

coloniale des entreprises ou des chercheurs, conduisant à la privatisation et à la marchandisation du vivant.

La biopiraterie se situe à la rencontre de plusieurs mouvements : (i) les progrès des biotechnologies et l'extension des droits de propriété intellectuelle sur toute forme du vivant, (ii) les revendications d'équité et de justice de la part des pays du Sud « riches en biodiversité » vis-à-vis des pays du Nord « riches en biotechnologie » et (iii) les luttes des peuples autochtones pour des droits politiques via la reconnaissance de leurs savoirs traditionnels sur la nature et les liens entre diversité biologique et diversité culturelle.

À la suite de la CDB, le protocole reconnaît la souveraineté des États et les charge de réguler l'accès à leurs ressources en précisant les conditions d'un consentement préalable des fournisseurs (*PIC – prior informed consent*) et du partage des avantages (*MAT – mutually agreed terms*). Chaque pays signataire⁽²⁾ du protocole met alors progressivement en place des processus réglementaires. Si ces processus s'inscrivent en principe dans le cadre vertueux de la CDB, ils compliquent souvent l'accès à la diversité biologique, par un excès de suspicion et de contrôle bureaucratique peu au fait des pratiques de la recherche. En effet, bien que les avantages listés par le protocole de Nagoya soient avant tout non monétaires, le mythe de « l'or vert » persiste et la plupart des pays ayant ratifié le protocole de Nagoya, comme les ONG, y voient bien une source non négligeable

de revenus financiers, contribuant à une marchandisation du vivant et légitimant le recours au brevet.

Jusqu'à aujourd'hui, aucun accord de partage important ne s'est concrétisé pour trois raisons principales :

- ▶ La biodiversité ne peut être réduite à des ressources génétiques mobilisables par les industries pharmaceutiques, détachées de leurs valeurs culturelles, sociales et écologiques.

- ▶ L'identification des détenteurs de savoirs exclusifs et la signature de contrats marchands posent également problème et ont tendance à alimenter des tensions identitaires.

- ▶ La recherche sur le vivant ne dépend plus exclusivement de l'accès au matériel biologique *in situ*, mais s'appuie désormais en grande partie sur des banques de séquences génétiques, généralement en accès libre, et sur les nouvelles techniques d'édition du génome qui échappent au protocole.

Au-delà des limites du protocole de Nagoya qui rendent difficile son application, le monde de la recherche, les secteurs privé et public et l'industrie pharmaceutique doivent plus que jamais infléchir leurs pratiques afin d'associer les populations à la définition et à la conduite de leurs travaux. Alors que les rapports se multiplient, alertant sur l'accélération de la perte de biodiversité et l'urgence climatique, la question reste ouverte de savoir comment utiliser le protocole de Nagoya en appui aux deux premiers objectifs de la CDB : la conservation et l'usage durable de la biodiversité.

(1) En 1992, le 3^e objectif présenté par la CBD vise « le partage juste et équitable des avantages tirés de l'exploitation des ressources génétiques » : il s'agit de ne plus permettre l'exploitation sans contrepartie des ressources naturelles et des savoirs des pays du Sud ; la libre circulation de ces ressources, jusqu'alors patrimoine de l'humanité, conduisant, essentiellement via le droit des brevets, à des appropriations jugées illégitimes.

(2) Ils sont 118 à ce jour (<https://absch.cbd.int/countries>).

aux États-Unis au moins une douzaine de décès liés à des accidents cardiaques ou accidents vasculaires cérébraux (à cause d'un dosage excessif suite à sa commercialisation).

Alors que les savoirs traditionnels constituent un véritable patrimoine culturel, l'homogénéisation des cultures liée à la mondialisation et l'urbanisation affectent directement les communautés locales et leurs connaissances (Roe, 2010). Il s'agit alors de redonner aux populations l'occasion de pratiquer ces savoirs qui ont

une valeur immatérielle non négligeable pour elles (Jarvis *et al.*, 2007). Ces savoirs, collectifs et intergénérationnels, participent à la cohésion sociale au sein des communautés. Plus largement, manier des organismes vivants à des fins thérapeutiques est aussi l'occasion de développer une véritable conscience environnementale.

On assiste aujourd'hui à un développement de la médecine traditionnelle pour un usage commercial dans les pays occidentaux (Fabricant et Farnsworth,

2001). Il a été estimé que le marché des plantes à usage médicinal s'élevait à 2,5 milliards de dollars, majoritairement du fait de la demande industrielle (UN Comtrade, 2013). La médecine traditionnelle est donc en train de fortement se développer en parallèle de la médecine contemporaine. Ce développement doit cependant se faire de manière raisonnée, de nombreux impacts sur la biodiversité pouvant être recensés dans le cas contraire (Cf. Partie « Inventer »).

La biodiversité, source de vitalité des métropoles

Daniel Breuiller, Vice-Président de la Métropole du Grand Paris

Avec 26% du PIB français et 7.2 millions d'habitants, la Métropole du Grand Paris (MGP) s'affiche aujourd'hui comme un territoire d'envergure internationale. Pourtant, son devenir tient moins à sa capacité à accroître son importance au sein des acteurs internationaux qu'à sa transformation en une métropole plus verte et plus résiliente, où il fasse bon vivre.

Aujourd'hui, 80% des cadres interrogés envisagent de quitter l'Île-de-France en raison de la détérioration de la qualité de vie. Les métropolitains sont nombreux (76%) à placer le renforcement de la nature en ville en tête de leurs attentes. La crise climatique et l'effondrement du vivant impactent fortement la MGP : 43°C cet été, des écoles fermées, deux inondations majeures en 3 ans, 81 des 131 communes carencées en espaces verts, une pollution atmosphérique dépassant les seuils plus d'un jour sur 3... Les facteurs de fragilité de la métropole parisienne sont largement à chercher dans sa déconnexion à la nature.

La nature rend pourtant de nombreux services qui participent activement à l'amélioration de la qualité de vie en ville : lutte contre la canicule, absorption des polluants, récréation, pratique sportive, etc. Bien au-delà de ces services, le bonheur d'entendre des chants d'oiseaux et d'observer des papillons et pollinisateurs est inestimable et reste pourtant trop ignoré des élus et services techniques. La fréquentation croissante des parcs, des forêts et des bords de Seine ou Marne révèle ce besoin de nature. Leur saturation révèle à l'inverse leur notoire insuffisance.

La nature n'est pas un agrément et les arbres ne sont pas du mobilier urbain : ils sont des éléments essentiels pour la qualité de vie et la bonne santé de la métropole et de ses habitants. Certains citoyens l'ont compris et cherchent à créer un élan pour qu'élus, entreprises et associations s'attèlent à son développement.

Les intercommunalités sont des échelles pertinentes pour agir en faveur de la biodiversité, celle-ci nécessitant des réponses systémiques et fonctionnelles

au-delà des frontières communales. À l'instar de la MGP, il est possible de mettre en place de nombreuses actions pour renforcer la place de la biodiversité au sein des villes.

La **renaturation** doit faire partie des priorités pour améliorer la qualité de vie des citoyens et doit permettre d'engager une réflexion globale sur les fonctionnalités écologiques et donc les services écosystémiques rendus par la biodiversité (friches urbaines, cours d'eau, trames vertes et bleues, etc.). À cet égard, la MGP, qui vient d'adopter une charte de la Métropole Nature travaille particulièrement à déployer le programme Nature 2050 porté par CDC Biodiversité sur des sites très urbanisés, dans l'objectif de renforcer la résilience des communes face au changement climatique.

Cette renaturation doit être accompagnée par un **changement des pratiques** de gestion des espaces verts. Par exemple, la MGP accompagne ainsi les services techniques dans un abandon des produits phytosanitaires dans les cimetières.

Il s'agit aussi de permettre l'engagement des citoyens dans les projets, afin qu'ils soient sensibilisés aux problématiques environnementales, qu'ils s'approprient les lieux et qu'ils se reconnectent à la nature. **L'agriculture urbaine** génère à la fois des bénéfices sociaux (bien-être lié au jardinage, création de liens sociaux) et écologiques (liés à la pollinisation, aux sols, à l'eau). La MGP soutient fortement ces projets d'agriculture urbaine, via notamment les Rencontres Agricoles du Grand Paris, un fonds d'investissement et la consultation « Inventons la Métropole du Grand Paris » qui a permis la création de 9 hectares d'agriculture urbaine. Le Concours des miels de la MGP ou la Transhumance du Grand Paris sont aussi l'occasion de mettre en lumière les communes qui favorisent l'implantation de ruches sur leur territoire et la possibilité d'un avenir agricole pour la métropole.

Pour identifier de manière précise les enjeux de biodiversité du territoire et aider la collectivité à agir, la MGP réalise un atlas de la biodiversité intercommunale pour l'ensemble de son territoire. Elle s'allie au Muséum national d'Histoire naturelle, à l'Agence régionale de la biodiversité Île-de-France, aux universités

et grandes écoles pour améliorer les connaissances et mettre en œuvre des projets liés à la nature en ville comme à la transition écologique.

Des outils sont indispensables pour porter ces ambitions fortes en termes de renaturation, notamment les documents stratégiques des intercommunalités. Le Plan Climat Air Énergie Métropolitain prévoit ainsi de reconquérir en 10 ans les 2 000 hectares de surface de pleine terre consommés dans les 20 ans passés. Plus contraignants, le SCOT comme le PLU(i) devraient être les outils réglementaires d'une métropole plus verte, par la sanctuarisation des terres agricoles existantes et la fixation d'un objectif ambitieux de 30% de pleine terre dans les projets d'aménagement à venir.

Un enjeu fort concerne aussi l'**acculturation** des élus et des techniciens. Celle-ci est au cœur des rencontres et des échanges de bonnes pratiques entre les élus des 131 villes de la Métropole. À cet égard, la charte Métropole nature engage chaque signataire (communes, mais aussi entreprises) à développer la nature en ville, à participer à la désimperméabilisation et à lutter contre l'artificialisation, en soulignant son rôle dans le bien-être physique et mental (via les jardins thérapeutiques notamment).

La question du financement est bien sûr essentielle car la nature ne paie pas de droits à construire, et perd donc souvent des arbitrages. La MGP a ainsi créé le FIM (Fonds d'Investissement Métropolitain), qui consacre l'essentiel de son crédit à des projets de renaturation ou d'agriculture urbaine. Il faudrait désormais aller plus loin, notamment avec l'obligation de consacrer *minima* 5% des budgets d'aménagement à la renaturation. À l'instar du 1% artistique pour généraliser la culture accessible à tous, le 5% nature pourrait garantir la transition vers une métropole résiliente et agréable à vivre de demain.

La volonté politique est un levier essentiel pour la renaturation de la ville. Les élus doivent être convaincus du bien-fondé des projets, de leurs apports pour le milieu et des bienfaits pour le citoyen. Nous sommes face à un défi magnifique, inventer la métropole d'avenir, celle du XXI^e siècle sera verte ou invivable !

L'importance de la biodiversité dans la médecine contemporaine

Si la médecine traditionnelle se base sur des principes actifs issus de la biodiversité, la médecine contemporaine a fait évoluer les procédés traditionnels afin d'intégrer des éléments synthétiques en complément ou en remplacement de la biodiversité.

La médecine traditionnelle se révèle donc être un socle primordial pour la médecine moderne, les pratiques ancestrales ayant mis en lumière les vertus des végétaux sur la santé humaine.

Les plus grandes avancées de la médecine contemporaine ont été faites grâce à des substances actives naturelles (Chivian et Bernstein, 2008), comme par exemple la découverte des antibiotiques qui est l'une des principales découvertes du XX^e siècle. La pénicilline ainsi que 9 des 13 classes principales d'antibiotiques aujourd'hui mondialement utilisées dérivent des micro-organismes. Entre 1981 et 2010, 75% des antibiotiques ayant obtenu leur autorisation de mise sur le marché provenaient de produits d'origine naturelle (Newman et Cragg, 2012). Plus largement, à l'aube du XXI^e siècle, 11% des 252 médicaments considérés comme essentiels par l'OMS étaient exclusivement d'origine végétale (Veeresham, 2012) et 8.7% d'origine animale (Marques, 1997).

Newman et Cragg (2016) identifient plusieurs catégories pour classer les différentes utilisations de la diversité biologique pour la médecine moderne, parmi lesquelles :

→ Les médicaments provenant d'une source naturelle non modifiée (e.g. l'Omacetaxine mepesuccinate, substance

naturelle utilisée dans le traitement de la leucémie myéloïde chronique), qui représentent environ 20% des traitements prescrits (Newman et Cragg, 2012).

→ Les médicaments semi-synthétiques, dérivés de sources naturelles (e.g. le paclitaxel provenant de champignons endophytes et utilisée en chimiothérapie).

→ Les médicaments synthétiques, inspirés de produits naturels. Il en existe deux sortes : les substances chimiques synthétiques naturelles qui reproduisent celles existant dans la nature (mimétisme biologique) et les substances chimiques synthétiques artificielles qui sont inventées par l'être humain (artéfacts).

D'un point de vue quantitatif, la médecine contemporaine est privilégiée dans les pays du Nord, dont les revenus sont plus élevés. Ces pays représentent 23% de la population mondiale mais 79,17% de la consommation mondiale de médicaments modernes (95 milliards de dollars contre 25 milliards de dollars dans les pays du Sud) (Bukar *et al.*, 2016). Parmi ces médicaments modernes, l'OMS (2013) affirme que 30% des médicaments vendus à travers le monde contiennent des composants directement issus des plantes.

Face à tous les enjeux sanitaires auxquels les sociétés humaines sont confrontées, il est nécessaire non pas d'opposer médecine traditionnelle et contemporaine, mais de combiner leurs utilisations dans une approche stratégique et multidisciplinaire (Bodeker et Burford, 2007). Cette réflexion est d'autant plus importante que la dynamique d'effondrement de la biodiversité entraîne des problématiques sanitaires nouvelles.

La situation actuelle requiert une réponse concertée en termes de savoirs liés à la santé humaine, qu'ils soient traditionnels ou liés à la médecine contemporaine.

Les préoccupations liées à la dynamique d'effondrement de la biodiversité

Étant donné la complexité et la richesse exceptionnelle de la biodiversité, la recherche a encore de nombreuses pistes d'investigations à explorer. Grâce à l'amélioration des connaissances, les êtres vivants pourraient encore être source de nombreuses innovations pour la médecine. Seulement 5 à 15% des espèces de plantes vasculaires auraient fait l'objet d'études pharmacologiques et médicales (Balandrin *et al.*, 1993), et une grande partie des potentielles applications demeurent sans doute encore inconnues des scientifiques. Si le milieu marin et le monde microbien n'ont à ce jour quasiment pas été étudiés, leur diversité et l'importance des découvertes déjà faites dans ces milieux offrent de nombreuses possibilités pour le développement de la médecine (Chivian et Bernstein, 2008).

Que ce soit pour la médecine traditionnelle ou la médecine contemporaine, la dynamique d'effondrement de la biodiversité met en danger sa *valeur d'option*, c'est-à-dire la valeur liée à l'utilisation potentielle de la biodiversité dans le futur (Heal, 2000), notion essentielle pour répondre aux enjeux d'un développement soutenable pour les êtres humains. La surexploitation des ressources, le changement d'usage des sols, l'urbanisation, le commerce illégal des êtres vivants et le changement climatique sont les principaux facteurs qui ont d'ores et déjà entravé l'utilisation viable à long terme de ce potentiel (Romanelli *et al.*, 2015).

Bien que les études concernant le rôle de la biodiversité dans des utilisations médicales potentielles se multiplient, la perte de biodiversité pourrait compromettre les innovations biomédicales et *a fortiori* la santé humaine. Les différents écosystèmes (océans, eaux douces, forêts, prairies, etc.) doivent être protégés, tous étant potentiellement pourvoyeurs de remèdes médicaux (TEEB, 2010).



© StockSnap de Pixabay

2 - Biodiversité et bien-être physique : le rôle de la biodiversité dans la satisfaction des besoins

À travers son rôle dans la dilution des pathogènes, la lutte contre les maladies chroniques et la fourniture de médicaments, la biodiversité a des effets directs sur « *l'absence de maladie* ». Mais les interactions entre biodiversité et santé ne s'arrêtent pas là : les services écosystémiques sont en mesure de soutenir le « *bien-être physique* » des individus, c'est-à-dire la bonne santé physiologique globale liée à la satisfaction des besoins essentiels :

- Respirer un air sain, dans un contexte de pollution de l'air et de changement climatique ;
- Disposer d'une eau en quantité suffisante et d'une meilleure qualité ;
- Manger de manière plus équilibrée, grâce au développement d'un nouveau système agroalimentaire.

La biodiversité au cœur des interactions entre qualité de l'air et changement climatique

Le changement climatique et la pollution de l'air ont des impacts non négligeables sur la santé humaine. Il est d'autant plus important de les aborder conjointement que les deux enjeux sont interdépendants et rétroactifs : d'un côté, le changement climatique amplifie la dégradation de la qualité de l'air, via l'accroissement de la température, les incendies, la perturbation des cycles naturels (Quenault, 2013). D'un autre côté, la plupart des particules et gaz à l'origine de la pollution de l'air sont aussi des gaz à effet de serre, qui s'échappent dans l'atmosphère et participent à l'aggravation du changement climatique (e.g. oxydes d'azote).

Pollution de l'air et biodiversité

Le coût économique annuel de la mortalité prématurée due à la pollution de l'air s'élevait en Europe à 1 431 milliards de dollars en 2013. Si l'on compte l'ensemble des impacts directs et indirects sur la santé et non plus seulement la mortalité induite, ce chiffre atteint 1 575 milliards de dollars (WHO Regional Office for Europe et OECD, 2015). À titre de comparaison, la somme des PIB des 28 États membres de l'Union Européenne était égale à 18 054 milliards en dollars 2017⁽¹²⁾. Les impacts de la pollution de l'air sur la santé humaine représentent un enjeu majeur, dont les coûts sont actuellement supportés par les budgets publics et les ménages.

Stables depuis 2014, les émissions de polluants dans l'air ont globalement diminué sur la période 2000-2017 (CGDD, 2017), notamment grâce aux innovations technologiques et l'évolution des procédés. Néanmoins, étant donné l'effet cumulatif,

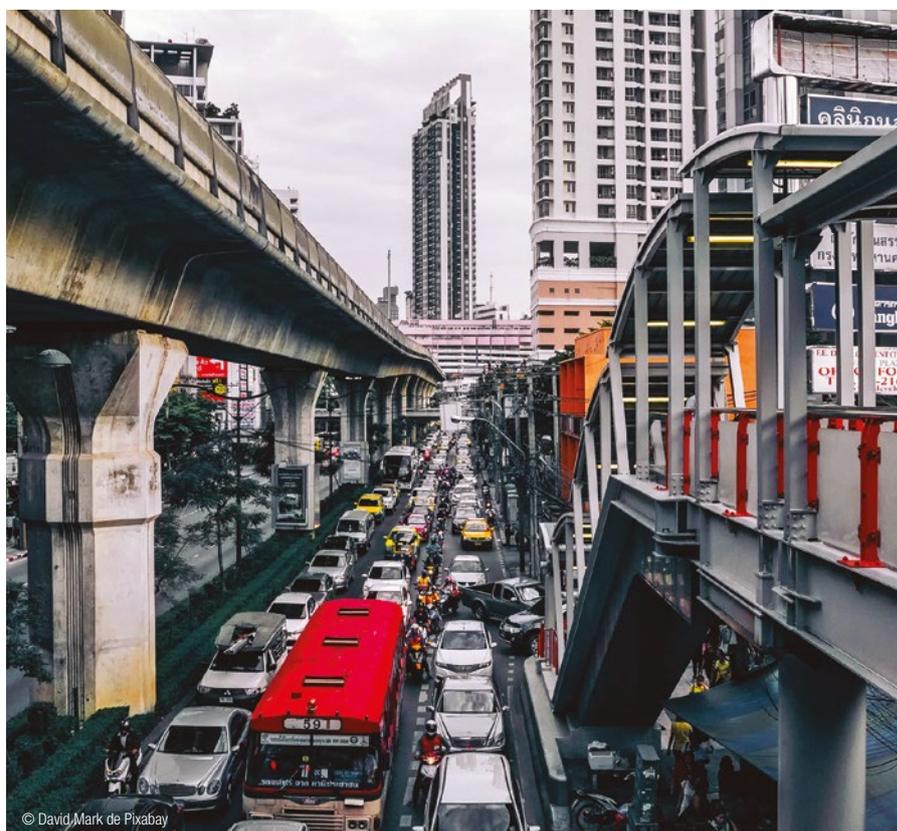
la concentration des polluants dans l'air est une problématique importante, notamment en milieu urbain.

La pollution de l'air est principalement le fait du chauffage résidentiel et tertiaire, des transports, des activités industrielles (chantiers, industries, énergie et déchets) et de l'agriculture (notamment pour les particules fines). Selon AirParif, les émissions dépendent aussi du degré d'urbanisation, de la superficie des terres agricoles et des traitements utilisés, de la présence d'aéroports ou de ports, et de la densité des infrastructures routières⁽¹³⁾.

Les voies de transmission des polluants vers l'être humain sont à la fois directes (inhalation, ingestion et pores de la peau) et indirectes (nourriture et eau notamment) (Kampa et Castanas, 2008). Leurs effets sur la santé sont nombreux : nausées, difficultés à respirer, mais aussi cancers de la peau, malformations congénitales, retards de développement et perturbations du système immunitaire (Kampa et

(12) Selon les données d'Eurostat

(13) <https://www.airparif.asso.fr/etat-air/air-et-climat-bilan-emissions>



© David Mark de Pixabay

Castanas, 2008). On estime ainsi à 600 000 le nombre de morts prématurées dues à la présence de polluants en Europe en 2010 (WHO Regional Office for Europe, OECD, 2015).

Au-delà des impacts directs, la pollution de l'air altère la biodiversité et a donc des impacts indirects sur la santé humaine. La pollution de l'air affecte de manière importante le fonctionnement des écosystèmes et la fourniture des services écosystémiques (acidification des eaux, des sols, eutrophisation, baisse des rendements agricoles), diminuant ainsi la capacité de la biodiversité à maintenir ses bénéfices pour la santé humaine (Jones *et al.*, 2014). La biodiversité est pourtant en capacité de participer à la purification de l'air (Ten Brink, 2016).

La végétation est en mesure **d'absorber et supprimer directement certains gaz polluants** de l'air, via les stomates et les feuilles des plantes (à la suite d'un dépôt en surface des particules). La capacité d'absorption des polluants par les végétaux dépend de plusieurs facteurs tels que les espèces choisies, les flux d'air, la concentration de polluants, la position des plantes, *etc.* (Pugh *et al.*, 2012). Par exemple, les larges plantations d'arbres à feuilles rugueuses peuvent absorber plus de polluants que les plantes à feuilles simples (Smith, 2012). Si la biodiversité végétale contribue à différents degrés à la

réduction de la pollution atmosphérique, la sélection des espèces utilisées est de grande importance dans les projets visant à réguler ou améliorer la qualité de l'air.

Les espaces de nature, urbains ou ruraux, sont autant d'endroits qui permettent aux individus de **s'éloigner des points d'émission de polluants** (Ten Brink, 2016). Ces « oasis d'air pur » permettent de bénéficier d'un air de meilleure qualité *in situ*, mais également dans les espaces à proximité.

Ils sont aussi en capacité de participer à la **modification des comportements individuels les plus polluants** (en termes de transport et de consommation notamment). En zone urbaine, les espaces de nature sont favorables au développement de la mobilité douce (vélo, marche) (Pikora *et al.*, 2003). Le développement d'une trame verte, couplée à une piste cyclable et des sentiers pédestres, permettent de diminuer l'utilisation de la voiture et donc les émissions de polluants. Dans cette même logique, l'agriculture urbaine, en développant une logique de circuit court, participe à la réduction de la pollution de l'air. Une étude réalisée pour la ville de Séoul a ainsi démontré que la mise en place de 51,15 km² d'agriculture urbaine serait en mesure de réduire les émissions de CO₂ de 11,67 millions de kilos chaque année (Lee *et al.*, 2015).

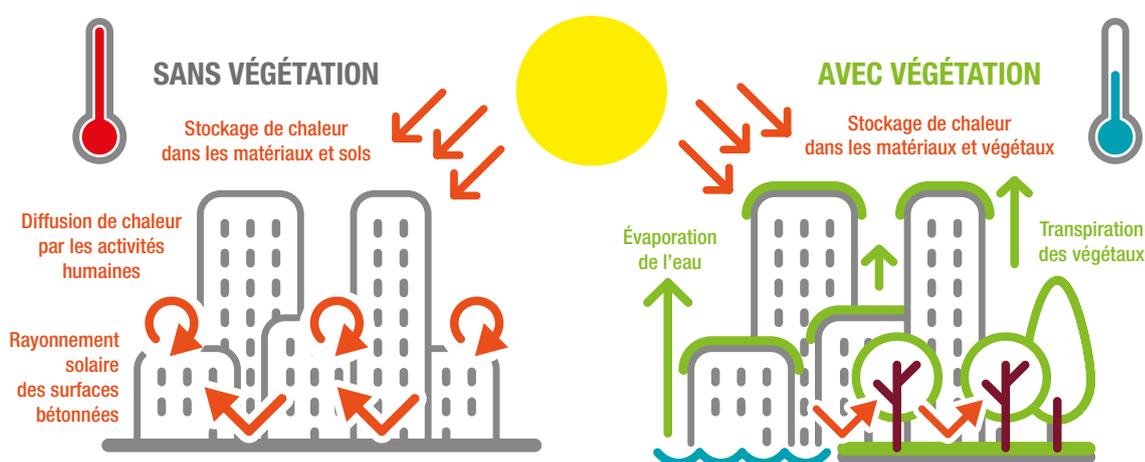
À travers le phénomène d'évapotranspiration et en refroidissant l'air aux alentours, les espaces végétalisés permettent de lutter contre les îlots de chaleur en **augmentant la dispersion des polluants** et permettant une réduction de leur concentration (Cf. Partie « Rendre la ville plus vivable dans un contexte de changement climatique »).

La végétation peut aussi concourir à une meilleure qualité de l'air à travers le phénomène de **phytostabilisation**. Il permet, grâce à la mise en place d'un couvert végétal sur un site contaminé, la réduction de la mobilité des polluants et donc une contamination moindre d'autres sites. Contrairement aux sols nus qui laissent les polluants se diffuser (à travers le lessivage par l'eau, par la faune ou sous forme de poussière), les végétaux sont en effet en mesure d'accumuler les polluants dans leurs racines et de les immobiliser dans la rhizosphère (Bolan *et al.*, 2011).

En 2011, Tallis *et al.* ont estimé entre 0,7% et 1,4% l'élimination de PM10⁽¹⁴⁾ dans la ville grâce à la canopée du grand Londres. Si la participation à la purification de l'air de la ville entière est faible, la purification à l'échelle très locale peut être importante (IPBES, 2018). Pour maximiser leur action de purification de l'air, il peut

(14) Particules dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres.

Figure 6 : illustration des phénomènes d'îlot de chaleur et d'évapotranspiration (source : auteurs)



→ ainsi être pertinent de placer les végétaux dans les zones les plus polluées (Mitchell et Mayer, 2009).

Les relations entre les végétaux et la pollution ne sont toutefois pas uniquement positives et linéaires : les arbres, lorsqu'ils sont concentrés, peuvent participer à la non-circulation et donc au confinement des polluants au niveau de la ville (Cuny *et al.*, 2015). D'autres considérations sont aussi à prendre en compte : émission de composés organiques volatils⁽¹⁵⁾ (COV), de méthane (Janhäll, 2015), d'allergènes (Asam *et al.*, 2015), *etc.*

La simple présence d'espaces verts ne peut purifier entièrement la ville : il est essentiel d'élaborer une réflexion plus globale pour diminuer drastiquement les émissions à la source et rendre la ville plus vivable. Plusieurs pistes sont à étudier :

- Dans le secteur des transports : le développement de la mobilité douce (vélo, marche), des transports en commun les moins pollués (tramway) et la diminution du nombre de véhicules pollués à l'intérieur de la ville (grâce au covoiturage notamment) ;
- Dans le secteur de l'industrie : la diminution des rejets gazeux et de poussières et une réflexion autour de l'économie circulaire, notamment dans une logique d'Écologie Industrielle et Territoriale (EIT) et de gestion optimale des déchets ;
- Dans le secteur de l'énergie : la sobriété en premier lieu (priorisation des besoins essentiels), l'efficacité ensuite (réduction de la quantité d'énergie nécessaire à la satisfaction d'un besoin) et enfin le développement raisonné des énergies renouvelables (pour un remplacement des énergies fossiles).

Rendre la ville plus vivable dans un contexte de changement climatique

Les records de chaleur s'enchaînent au fur et à mesure des années et décennies (GIEC, 2018). Les activités humaines ont

d'ores et déjà causé une augmentation de la température moyenne de 1°C depuis la période préindustrielle (GIEC, 2018) et les différents scénarios envisagés par le GIEC prévoient tous une augmentation des températures. Il apparaît donc crucial de s'interroger sur les risques que le changement climatique pourrait engendrer et les solutions à envisager.

Au-delà de la température moyenne, des phénomènes extrêmes (sécheresses, canicules) plus réguliers, intenses et prolongés ont été constatés (GIEC, 2018). Dans la perspective optimiste où le réchauffement climatique moyen se limiterait à environ 2°C, les températures extrêmes augmenteraient d'environ 4°C.

En ville, étant donné le rayonnement solaire des surfaces bétonnées et les activités humaines (circulation, climatisation, industrie), la température est largement supérieure aux températures relevées dans les milieux ruraux (entre 2°C et 12°C supérieure) (ONERC, 2010). Les effets sur la santé humaine de ces épisodes caniculaires sont nombreux (ADEME, 2017) :

- Effets directs (inconforts, maux de tête, crampes, troubles de l'attention) ;
- Symptômes des maladies chroniques renforcés ;
- Accroissement des effets de la pollution ;
- Mortalité accrue (notamment chez les personnes les plus fragiles).

Dès 2006, le rapport Stern sur l'économie du changement climatique est venu estimer à 5 500 milliards d'euros le coût de l'inaction face au changement climatique (Stern, 2006), mettant en avant le fait que le coût de l'inaction serait beaucoup plus important qu'une action forte, précoce et concertée. L'intensification des problématiques liées au changement climatique requiert une réponse à la hauteur des enjeux.

La biodiversité est en capacité de réduire la température des villes durant les épisodes de canicule et de fortes chaleurs, à travers plusieurs canaux.

Les espaces de nature sont à l'origine du **phénomène d'évapotranspiration**, qui combine évaporation (l'eau contenue dans les sols et les points d'eau se libère en se transformant en gaz) et transpiration (l'eau contenue dans les feuilles se dégage pour maintenir la température du végétal). L'évapotranspiration permet ainsi le rafraîchissement de la zone, grâce au dégagement d'une plus grande quantité de vapeur d'eau (Taha, 1997). Au-delà des espaces végétalisés, une réflexion doit être portée autour de la place de l'eau dans la ville : il s'agit de désimperméabiliser les sols urbains pour favoriser l'infiltration de l'eau, d'augmenter le nombre et la superficie des points d'eau et d'améliorer la gestion des eaux pluviales (Cf. « Le rôle essentiel de l'eau pour la santé humaine »).

En outre, les végétaux offrent **des espaces ombragés**, qui tamisent les rayons directs du soleil et permettent un meilleur confort thermique (Morakinyo *et al.*, 2017). Ils permettent aussi une meilleure réflexion des rayons solaires, contrairement à la plupart des surfaces bétonnées qui absorbent directement l'énergie lumineuse et la transforment en chaleur.

De multiples actions peuvent être entreprises afin de lutter contre les îlots de chaleur. Développer les surfaces végétales, que ce soit en pleine terre (De Munck, 2013) ou sur les toitures et murs (Alexandri et Jones, 2008), permet de découpler les effets de l'évapotranspiration et de réflexion des rayons solaires. Les arbres, en coupant le vent, peuvent toutefois réduire l'effet rafraîchissant et retenir le rayonnement vers le ciel, ce qui amenuise la baisse de température nocturne (Musy, 2014). La réflexion autour du choix des essences, du type de végétalisation et de leur emplacement géographique est primordial et doit faire l'objet d'une réelle attention en amont de la mise en œuvre des projets de renaturation (Cf. Point de vue de Luc Abbadie).

(15) Notamment par les chênes, les platanes et les peupliers.

À l'intérieur de la ville, la température varie selon la forme urbaine (espacement des bâtiments et dimension de la ville), l'imperméabilisation des sols (béton et goudron qui diminuent le stockage d'eau dans les sols et ne permettent pas l'évapotranspiration) et la concentration d'activités humaines sources de chaleur (ADEME, 2017). Pour rendre la ville plus vivable, il est donc nécessaire de porter une attention plus globale aux enjeux d'aménagement, d'architecture et de transports.

Le rôle essentiel de l'eau pour la santé humaine

L'eau est une ressource fondamentale pour notre santé physique. À l'intérieur du corps humain, elle assure de nombreuses fonctions, notamment liées au maintien de la température corporelle, au transport des nutriments ou encore à l'activité neurologique. Si l'eau est un élément central de la santé des écosystèmes et de la santé humaine, elle est aujourd'hui au cœur d'une crise considérée comme « invisible » (Damanian *et al.*, 2019), dont l'intensité devrait augmenter à l'avenir (WWAP et UN-Water, 2018).

La **disponibilité de l'eau** est aujourd'hui un enjeu de premier rang : la consommation d'eau a été multipliée par six durant le dernier siècle (Wada *et al.*, 2016). La croissance démographique, l'agriculture intensive et l'accroissement de la production énergétique stimulent cette demande en eau, questionnant la gestion des stocks d'eau et la durabilité du système actuel (OECD, 2012). Dans un contexte de changement climatique, l'eau devenant une ressource restreinte, il est désormais nécessaire de développer des alternatives à l'agriculture intensive⁽¹⁶⁾ et d'engager une transition vers un système agroécologique soutenable (Cf. « L'agriculture au carrefour des enjeux biodiversité et santé »).

(16) Premier poste de consommation d'eau.

La **qualité de l'eau** est aussi un enjeu grandissant. Les pollutions proviennent majoritairement des espaces urbains (lessivage des espaces imperméabilisés) et agricoles (produits phytosanitaires et engrais et des industries) (ADEME, 2017). Le déversement des eaux usées sans traitement préalable est une des causes de la propagation des pathogènes (UNEP, 2016). Dans les pays du Nord, où le risque infectieux est moindre, les enjeux sont focalisés sur les risques de maladies chroniques causés par les pollutions (troubles respiratoires, digestifs ou cutanés, risques de cancer). En France, pour distribuer de l'eau potable, la dépollution des pesticides et nitrates contenus dans l'eau coûte environ 1,7 milliard d'euros par an. Le coût d'un retour à une eau « naturelle », au-delà des normes de potabilité, s'élèverait quant à lui à 54 milliards d'euros par an (CGEDD, 2011).

La réflexion autour des enjeux de l'eau requiert la prise en compte **des phénomènes extrêmes**, tels que les sécheresses et les inondations. Entre 1992 et 2012, il a été estimé que les inondations, les sécheresses et les tempêtes ont causés 1 300 milliards de dollars de dommages (UNESCAP et UNISDR, 2012).

Il peut être pertinent d'appréhender ces différents enjeux de manière holistique tant ils sont interconnectés. Par exemple, l'amélioration de la qualité de l'eau favorisera sa réutilisation et donc la quantité d'eau disponible pour un usage donné (WWAP et UN-WATER, 2018). Au contraire, la raréfaction de l'eau augmente les concentrations de nitrates et de pesticides dans les cours d'eau.

La biodiversité et les espaces de nature peuvent être des solutions efficaces pour améliorer la quantité d'eau disponible, sa qualité et diminuer la récurrence et l'ampleur des inondations et sécheresses. La biodiversité est à l'origine de nombreux services écosystémiques liés à l'eau (MEA, 2005) :

- Approvisionnement en eau douce (réserves d'eau intérieures, d'eau souterraine, d'eau pluviale et d'eau de surface destinées à une utilisation domestique, industrielle et agricole) ;
- Régulation des eaux (notamment en termes de stockage d'eau dans les écosystèmes) ;
- Purification de l'eau (filtration et décomposition des déchets organiques et des polluants dans l'eau, assimilation et décontamination des composés) ;
- Gestion des risques liés à l'eau (réduction des dommages occasionnés par les inondations et sécheresses) ;
- Soutien au cycle de l'eau.

La dynamique d'effondrement de la biodiversité met en danger la fourniture de ces services écosystémiques, accroissant en même temps les risques pour la santé. Aussi, diverses solutions peuvent être mises en place pour les restaurer ou les développer (WWAP et UN-WATER, 2018).

Les villes se sont développées en bétonnant excessivement, renforçant ainsi le phénomène de ruissellement et donc les problématiques liées à la qualité de l'eau. Une des solutions à envisager serait d'**améliorer la perméabilité** des sols pour faciliter l'infiltration de l'eau et la fourniture des services qui en découlent.

En vue d'améliorer la qualité de l'eau, la **phytoépuration** semble être une des pistes à privilégier pour ses nombreuses vertus. Processus d'épuration biologique et de purification des eaux via l'action des végétaux, la phytoépuration permet la consommation de l'azote et du phosphore par les plantes. Celles-ci sont alors le socle du développement de micro-organismes qui participent à la minéralisation des résidus organiques et donc à l'épuration. La phytoépuration utilise plusieurs techniques (Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, 2005) : le lagunage à macrophytes ou microphytes ou les filtres plantés de roseaux. Une réflexion doit être portée sur l'utilisation de plantes locales pour la phytoépuration,

POINT DE VUE

L'adaptation des villes au changement climatique : un enjeu de santé publique

Luc Abbadie, Professeur d'Écologie à Sorbonne Université, directeur de l'Institut d'Écologie et des Sciences de l'Environnement

Le futur climatique des villes et de leurs abords est désormais bien anticipé : accroissement des températures moyennes, augmentation de l'intensité, de la fréquence et de la durée des périodes de canicule, de sécheresse et d'inondation, le tout amplifié par le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Les scénarios fournis par les climatologues aux échelles planétaire, régionale et locale sont de plus en plus robustes, de plus en plus précis et surtout de plus en plus inquiétants : c'est l'habitabilité de notre milieu de vie et plus largement la viabilité des écosystèmes tels que nous les connaissons aujourd'hui qui sont remis en cause. Compte tenu de la dimension planétaire du phénomène urbain, les problématiques liées au changement climatique, à la crise de la biodiversité, à la pollution et à la finitude des ressources se jouent très largement en ville, tant du point de vue technique que du point de vue social.

Le monde urbain doit donc évoluer profondément. Évoluer dans sa culture et son organisation afin de réduire l'intensité de la crise systémique, désormais inévitable, qui affecte la biosphère. Évoluer aussi pour demeurer habitable et accueillant pour les citoyens en dépit du changement climatique attendu. Mais que signifie adapter la ville au changement climatique ? En l'occurrence, il s'agit moins de « faire avec » que de « faire contre » : l'enjeu est de réduire l'intensité des facteurs chimiques, physiques et biologiques liés au climat local qui détériorent les conditions de vie des urbains.

La nouvelle ambiance thermique des villes est à l'évidence l'un des changements les plus impactants pour la santé, fragilisant certaines fonctions physiologiques et engendrant des surmortalités épisodiques. Il existe des solutions techniques, mais toutes sont loin d'avoir un bilan environnemental satisfaisant (énergie et matériaux consommés, absence de co-bénéfices sur d'autres composantes de l'environnement urbain). La végétalisation des villes est une solution alternative dont l'efficacité n'est plus à démontrer pour lutter contre les températures élevées et les canicules. Or, on sait aujourd'hui que réduire un pic de chaleur de quelques degrés, c'est épargner de nombreuses vies. Par ailleurs, la végétation urbaine contribue à diminuer la concentration de certains polluants dans l'air (particules fines, oxydes d'azote) et améliorent le sentiment de bien-être.

Il faut s'engager dès à présent dans une politique de prévention des effets du réchauffement climatique et développer dans les villes une véritable canopée. Tout retard se paiera par des dégâts sanitaires conséquents. Planter des arbres dans les rues et installer des toitures et des murs végétalisés, c'est donc conduire une politique de santé publique. C'est aussi agir sur la sécurité des biens et des personnes à travers la diminution des quantités d'eau relâchées dans les rues et les systèmes d'assainissement. La recherche a montré que la désimperméabilisation des sols et la mise en place d'infrastructures vertes permettent de réduire considérablement les risques et les coûts engendrés par les inondations en zone urbaine. L'autre intérêt est de rendre la ville favorable aux êtres vivants, ce qui constitue une réponse pertinente à la régression des habitats disponibles et

à la modification des aires de répartition des êtres vivants. Renaturer la ville, c'est donc aussi conduire une politique de santé de la biosphère dont nous faisons partie.

Toutefois, une grande question demeure : quelle biodiversité mettre en place, quelle biodiversité favoriser pour atteindre nos objectifs ? Notre connaissance est encore perfectible au sens où la biodiversité urbaine est souvent appréhendée de manière trop englobante : on parle de trame verte et bleue, d'infrastructures vertes... Mais, derrière ces mots, il y a des êtres vivants qui présentent des caractéristiques propres et qui fonctionnent en interaction. Il est encore aujourd'hui bien difficile d'engager une réflexion sur le choix de telle ou telle espèce par rapport à tel ou tel objectif, faute de connaissances. En d'autres termes, l'impact des espèces sur la qualité de vie des urbains reste pour l'essentiel à explorer et l'on peut parier que tout progrès en la matière est porteur d'améliorations.

Un autre levier d'amélioration des politiques de renaturation des villes passe par la prise en compte d'une évidence : gérer les impacts du changement climatique en ville ne se joue pas seulement sur le territoire urbain lui-même. Les zones agricoles et forestières ainsi que les zones humides contribuent significativement à la régulation du climat et du cycle de l'eau urbains. Sur le plan fonctionnel, les limites administratives et géographiques n'ont que peu de sens. Une réflexion de fond semble nécessaire pour réinventer de nouveaux rapports ville-campagne. Il s'agit alors de passer de relations de dépendance réciproque à de nouvelles relations de complémentarité, pour raisonner en termes de bassin de vie.



→ afin qu'elles trouvent réellement leur place sur le territoire et répondent aux enjeux d'adaptation (Cf. «Zones humides artificielles et phytoépuration»).

Cette approche intégrée de l'eau au cœur des territoires est à l'origine de nombreux co-bénéfices pour la santé des populations (CDC Biodiversité, 2019):

- Contribution à l'attractivité du territoire ;
- Amélioration du paysage urbain ;
- Participation au bien-être physique et mental des riverains ;
- Régulation des températures locales et du climat global ;
- Préservation et reconstitution d'espaces de nature favorables à la biodiversité.

Ces actions basées sur la biodiversité doivent être au cœur de stratégies territoriales et viser un objectif de meilleur fonctionnement des écosystèmes aquatiques : reforestation et conservation des forêts, connexion des rivières et fleuves avec les plaines inondables, conservation et restauration de zones humides, *etc.*

L'agriculture au carrefour des enjeux biodiversité et santé

Recouvrant 54% du territoire français (INSEE, 2019), l'agriculture a un rôle majeur à jouer dans la préservation des écosystèmes et de la santé humaine. Aujourd'hui, l'agriculture intensive est largement critiquée pour ses impacts environnementaux importants et ses performances économiques décroissantes (perte de rendement à l'hectare, prix fluctuants peu générateurs de revenus, forte dépendance aux subventions).

Les impacts de l'agriculture intensive sur la santé humaine

Les travaux de recherche soulignant les impacts de l'agriculture intensive sur la santé humaine ne cessent de justifier la nécessité d'une transition agroécologique. Il est nécessaire de

rappeler la responsabilité de chacun dans le maintien du système agricole actuel : des consommateurs qui souhaitent des produits à moindre coût, aux entreprises agroalimentaires qui anticipent cette demande.

L'agriculture intensive requiert une utilisation importante de produits phytosanitaires dans l'objectif d'éradiquer les maladies sur de grandes parcelles. Utilisés par définition pour lutter contre des organismes vivants (*cide*: tuer et *pest*: animal ou végétal indésirable), leur action n'est pas spécifique à une espèce et ils peuvent potentiellement générer des impacts sur d'autres êtres vivants. L'être humain fait partie des victimes des pesticides, notamment via l'infiltration dans les nappes phréatiques et le transport par le vent des substances. Les effets sur la santé peuvent être importants : perturbations du système endocrinien et reproductif, cancers, infertilité, retards de développement, *etc.* (Gilden *et al.*, 2010). Ce sujet est aujourd'hui au cœur des préoccupations sociétales du fait du caractère cumulatif et durable des impacts sur la santé humaine. Les évaluations économiques vont dans le même sens. En agriculture par exemple, la Fondation Concorde (2017) souligne que la suppression du glyphosate entraînerait un coût économique estimé à 976 millions d'euros par an (temps de travail, mécanisation, *etc.*). Le Haut conseil de santé publique (2017) a quant à lui chiffré un coût bien supérieur (120 milliards d'euros) pour les impacts actuels sur la santé des produits phytopharmaceutiques (via les perturbations endocriniennes).

L'agriculture intensive est aussi responsable d'une augmentation des niveaux de nitrates et de phosphates dans les eaux. Issus des effluents d'élevage et des engrais, le ruissellement et l'infiltration entraînent des impacts sur la biodiversité (eutrophisation, prolifération d'algues), et *a fortiori* sur la santé humaine (cancers gastriques, tumeurs malignes, *etc.*) (Lundberg *et al.*, 2004).

Elle est aussi à l'origine d'émissions importantes de gaz à effet de serre. En 2015, l'agriculture représentait plus de 81% des émissions nationales de protoxyde d'azote (épandage de lisier et d'engrais azotés), dont le pouvoir de réchauffement est 265 fois plus élevé que le dioxyde de carbone (CGDD et I4CE, 2018). Les engrais azotés sont aussi responsables de la présence dans l'air d'ammoniac, précurseur de la pollution aux particules fines (CDC Biodiversité, 2018).

Enfin, l'élevage intensif contribue au développement de pathogènes en raison notamment de la densité des animaux au sein des infrastructures, de l'étroitesse des salles et des conditions sanitaires (Cf. Point de vue de Serge Morand). Ce phénomène est dû au manque de diversité génétique et à la baisse des défenses immunitaires des animaux au sein de l'élevage (accoutumance aux médicaments des micro-organismes et contacts limités avec l'extérieur) (Liverani *et al.*, 2013).

Au regard de ses impacts, l'agriculture intensive représente une menace pour la santé humaine. Par ailleurs, ce modèle agricole connaît aujourd'hui

→ des difficultés économiques, en raison notamment de la perte de rendement à l'hectare et des résultats économiques alarmants des exploitations (-27,6% et -21,5% respectivement en 2013 et 2016). Ainsi, 60% des exploitations agricoles auraient un revenu négatif si les subventions accordées par la PAC n'existaient pas.

Désormais, notre société doit s'interroger sur les moyens de concrétisation d'une transition vers un modèle agricole où le vivant est au cœur des dynamiques. L'agroécologie est à la fois une discipline scientifique, un ensemble de pratiques et une réelle opportunité de transition basée sur la compréhension du fonctionnement des écosystèmes (CDC Biodiversité, 2018). Elle s'incarne au cœur d'une dynamique sociale autour de l'agriculture relocalisée, la souveraineté alimentaire et la sobriété de consommation (Le Naire et Dufumier, 2019). La mobilisation de l'ensemble des acteurs est nécessaire pour accompagner la transition agroécologique vers des modes de production et de consommation plus vertueux.

Interactions positives entre agroécologie, biodiversité et santé

L'agroécologie est en mesure de contribuer à la préservation de la biodiversité, en favorisant l'abondance et la diversité des espèces (notamment des organismes du sol) (Guyomard *et al.*, 2013 ; Henneron *et al.*, 2014). Elle est aussi en capacité de répondre à l'appauvrissement drastique des variétés paysannes issu de l'agriculture standardisée (Demeulenaere et Bonneuil, 2010), tout en étant en capacité de s'adapter au changement climatique.

Un certain nombre de pratiques sont bénéfiques pour la biodiversité, telles que la diversification des assolements, la non-utilisation de pesticides (y compris d'origine naturelle), le mélange de variétés cultivées dans une même parcelle, la couverture permanente des sols agricoles, la rotation des cultures, la protection des prairies permanentes, la plantation de haies ou de

bandes boisées, la protection des arbres isolés, la création de mares, *etc.* (CDC Biodiversité, 2018).

Au-delà de la préservation de la biodiversité, l'agroécologie est aussi source de bienfaits pour la santé humaine. Grâce à la séquestration du carbone dans les sols et à l'abandon progressif des produits phytosanitaires, elle participe à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la limitation de la pollution de l'air.

La qualité de l'eau se voit aussi améliorée par les pratiques agroécologiques vertueuses et la présence d'aménagements écologiques favorables à la purification de l'eau (haies, bandes enherbées, prairies humides).

L'agroécologie est à l'origine d'une diminution des maladies infectieuses au sein des exploitations. Comme le souligne l'ancien directeur général de la FAO Graziano da Silva, « *moins de biodiversité signifie que les plantes et les animaux sont plus vulnérables aux parasites et aux maladies* » (FAO, 2019).

Cette diversité biologique au sein de l'agriculture est en outre primordiale pour une meilleure alimentation. Une corrélation a ainsi été démontrée entre consommation d'aliments issus de l'agriculture biologique et moindre développement de cancers (Baudry *et al.*, 2018) (Cf. « La relation alimentation-santé »).

Aujourd'hui, les initiatives en faveur d'une agriculture plus durable se développent mais peinent à se généraliser. Au regard des impacts négatifs que l'agriculture intensive engendre et des bienfaits de l'agroécologie (sur la biodiversité et la santé humaine), il est primordial de s'engager vers un nouveau modèle, co-construit avec les acteurs des territoires (agriculteurs, entreprises de transformation et de distribution, consommateurs, collectivités, coopératives intermédiaires, *etc.*) afin de réaliser une véritable transition agroécologique (Le Naire et Dufumier, 2019).

3 - Bien-être mental et bien-être social : l'amélioration de la qualité de vie par la biodiversité

La bonne santé d'un individu n'est pas seulement liée à son état de forme physiologique et physique : celle-ci dépend également de son bien-être. L'objectif de cette partie est d'apporter un éclairage sur les liens entre biodiversité et bien-être au travers des bienfaits :

- **Psychologiques**, et les effets des espaces de nature sur le stress et la dépression ;
- **Cognitifs**, à travers le développement des capacités d'apprentissage et la restauration de l'attention ;
- **Culturels**, liés au développement de modes de vie plus sains, à la pratique d'activités récréatives, à l'appréciation esthétique et à la spiritualité ;
- **Sociaux**, notamment le rôle de la biodiversité dans la facilitation des interactions sociales.

La biodiversité et ses bienfaits sur le bien-être mental

Selon l'OMS (2018b), le bien-être mental se définit comme « *un état de bien-être dans lequel une personne peut se réaliser, surmonter les tensions normales de la vie, accomplir un travail productif et contribuer à la vie de sa communauté* ». Nous l'associons ici à la combinaison entre des facteurs (i) psychologiques, (ii) cognitifs et (iii) culturels.

On observe aujourd'hui une préoccupation croissante autour de la santé mentale. En 2018, l'OMS estime que les troubles mentaux sont devenus une des principales causes de morbidité à l'échelle mondiale avec 450 millions de cas, et que « *les troubles mentaux ou neurologiques affecteront une personne sur quatre dans*

le monde à un moment où l'autre de leur vie »⁽¹⁷⁾. Les troubles mentaux, bien qu'évoquant des maladies comme la schizophrénie ou les troubles bipolaires dans le langage courant, font aussi référence à des affections telles que la dépression, le stress chronique ou les comportements antisociaux.

Les coûts engendrés par ce mal-être mental sont conséquents. On estime ainsi que les coûts de la prise en charge des maladies liées à des troubles mentaux (plus particulièrement la dépression) dépassent significativement les coûts liés au traitement des maladies chroniques telles que le cancer (Berto *et al.*, 2000).

L'OMS (2004) estime que les coûts liés à la santé mentale représenteraient entre 3% et 4% du Produit national brut (PNB) des pays du Nord (Rice *et al.*, 1990).

La biodiversité a des impacts positifs sur le bien-être mental via des bénéfices psychologiques, cognitifs et culturels.

Bénéfices psychologiques de la biodiversité

L'intensification du travail, le culte de la compétition et la transformation des normes sociales ont créé les conditions propices à l'apparition de nouveaux maux dans nos sociétés modernes : stress chronique, dépression, anxiété, *etc.* Aujourd'hui, la dépression concernerait 30 millions de personnes dans le monde selon l'OMS⁽¹⁸⁾, et pourrait devenir la première cause de morbidité chez les femmes dans les années à venir⁽¹⁹⁾. Lors d'une étude menée en France en 2017, 88% des individus interrogés se déclaraient stressés (10% très stressés, 40% assez stressés et 38% un peu stressés), parmi lesquels 38% ressentaient une augmentation de leur stress en comparaison aux années précédentes⁽²⁰⁾.

(17) OMS (2001). Une personne sur quatre souffre de troubles mentaux. Accessible sur https://www.who.int/whr/2001/media_centre/press_release/fr/

(18) OMS (2018). Dépression. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/depression>

(19) 2^e chez les hommes, après les maladies cardiovasculaires

(20) Étude OpinionWay sur le stress

Figure 7 : Coûts liés aux troubles mentaux (d'après OMS, 2004)

		Coûts des soins	Coût de productivité	Autres coûts
DIRECT	Patient	<ul style="list-style-type: none"> Honoraires et paiements des traitements et services Frais médicaux Charges pour le service à la personne 	<ul style="list-style-type: none"> Incapacité Perte de revenu 	<ul style="list-style-type: none"> Angoisse, souffrance Effets secondaires des traitements Suicide
	Entourage	<ul style="list-style-type: none"> Soins non professionnels 	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt maladie 	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de la productivité Absentéisme
INDIRECT	Employeur	<ul style="list-style-type: none"> Contributions aux traitements et aux soins 	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de la productivité Absentéisme 	
	Ensemble de la société	<ul style="list-style-type: none"> Prestations de soins de santé mentale et de soins médicaux (taxation/assurance) 	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de la productivité 	<ul style="list-style-type: none"> Morts prématurées, maladies non traitées Exclusion sociale

Notre société est aujourd'hui sujette au stress chronique (ou cumulatif), résultat de l'exposition prolongée au stress. Celui-ci est à l'origine d'une augmentation significative des risques de maladies cardio-vasculaires et de crises cardiaques (Selye, 1956).

Selon les travaux de Trontin *et al.* (2010), le stress aurait coûté entre 1,9 et 3 milliards d'euros à la France en 2007. Ce chiffre rassemble les coûts des soins, les pertes économiques liées à l'absentéisme, les cessations prématurées d'activité ainsi que les décès prématurés. Une étude réalisée au Canada par Stephens et Joubert (2001) a estimé à 6 milliards de dollars la perte de productivité liée à la dépression.

En ville, on observe une augmentation de la fréquence cardiaque et du taux de cortisol, hormone du stress. Ce phénomène est dû aux multiples sollicitations et stimulations qui y ont lieu : bruit, lumière, contacts humains, odeurs, *etc.* Une étude publiée dans *Nature* a aussi identifié une augmentation de la sensibilité des amygdales dans les villes (Lederbogen *et al.*, 2011), celles-ci étant liées à notre capacité à ressentir et percevoir les émotions. Si elles sont sensibles au stress généré par le milieu urbain, leur activité est beaucoup plus réduite en zone rurale.

Les espaces de nature peuvent contribuer à la **diminution du stress et à l'augmentation du sentiment d'apaisement**. Passer au moins 20

minutes dans un espace de nature permet de diminuer efficacement la sécrétion de cortisol et donc de lutter contre le stress (Hunter *et al.*, 2019). En effet, la tranquillité qui règne dans les espaces de nature régule les pensées et calme l'activité cérébrale (Park *et al.*, 2010).

Plus largement, les environnements naturels ont des effets importants sur **la dépression et l'anxiété** (Maas *et al.*, 2009) en favorisant une **amélioration du bien-être global** (MacKerron et Mourato, 2013). Il a aussi été prouvé que 90 minutes de marche dans la nature contribuent à la **diminution des ruminations mentales** (pensées négatives récurrentes), alors qu'une promenade en ville ne diminue en rien l'activité neuronale (Bratman *et al.*, 2015).

Les espaces de nature sont à l'origine d'un sentiment d'apaisement, d'interactions sociales et d'une meilleure qualité de l'air. Ils soutiennent des activités bénéfiques pour la santé (récréation, interactions sociales, sport, jardinage), permettent de se relaxer et réduisent la fatigue mentale.

Selon les travaux de Capaldi *et al.* (2005), les raisons pour lesquelles nous avons besoin d'une connexion avec la nature reposent sur la manière de vivre de nos ancêtres. Leur survie et leur bien-être dépendant directement de la nature, nous avons, de manière innée, besoin de créer des liens avec elle.

→ Les études montrent que les individus préfèrent généralement des espaces modérément complexes, alternant espaces boisés et prairies, où la vue sur des bâtiments est moindre (Kaplan *et al.*, 1998). Dunnett *et al.* (2002) ont consolidé une série de travaux et sont parvenus à énoncer un ensemble de caractéristiques du parc urbain favorable au bien-être humain :

→ Une grande variété d'espèces et d'habitats, beaucoup de végétation (arbres, fleurs) et d'espaces aquatiques (fontaines, lacs, mares, cascades), dont l'ensemble permet une plus grande stimulation sensorielle (odeurs et senteurs) ;

→ Un usage récréatif et sportif, adapté aux plus jeunes, confortable (chaises, abris, toilettes, bancs) et à l'écart des bruits urbains.

Le bien-être psychologique est une composante à part entière de la santé, et doit devenir une priorité des pouvoirs publics. Le bien-être des citoyens a en effet de multiples aspects positifs en termes d'efficacité au travail, d'amélioration des relations sociales, de diminution des dépenses de santé, *etc.* Ces arguments doivent servir de leviers pour conduire les décideurs à créer davantage d'espaces de nature et en faciliter leur accès. Dans une logique d'optimisation des dépenses publiques, il semble désormais nécessaire de traiter les causes sous-jacentes du mal-être psychologique en renforçant les dépenses de prévention par la création ou l'amélioration des espaces de nature.

Bénéfices cognitifs de la biodiversité

La cognition désigne « l'ensemble des structures et activités psychologiques dont la fonction est la connaissance, par opposition aux domaines de l'affectivité »⁽²¹⁾. Aujourd'hui, nos capacités cognitives sont mises à rude épreuve. Notre cerveau est assujéti à des quantités de données croissantes liées aux smartphones, ordinateurs et télévisions.

(21) Définition commune du Larousse

En parallèle, la technologie semble affecter notre capacité de concentration lors de la réalisation de certaines tâches (Mark *et al.*, 2008). Ce déficit d'attention peut mener à des risques importants pour la santé : pour compenser leur déficit de concentration, certains salariés travaillent davantage, ce qui mène à plus de stress, de frustration et de pression (Mark *et al.*, 2008).

À toutes les étapes de la vie, la nature peut avoir des impacts positifs sur les capacités cognitives (dans le cadre scolaire ou professionnel).

L'éducation est un domaine dans lequel certaines méthodes alternatives reposent sur la nature. Celle-ci offre en effet de nombreuses opportunités éducatives : expérimentations avec les végétaux, contacts avec la faune, apprentissage des processus écologiques, *etc.* (Faddegon, 2005). La dynamique de la biodiversité et les changements liés à la saisonnalité permettent de stimuler les capacités cognitives de l'enfant (Kellert, 2002). La diversité des espèces et des habitats, ainsi que l'ensemble des processus écosystémiques sous-jacents, permettent à l'enfant d'apprendre à trier une quantité importante de données dans des conditions favorables à son apprentissage (Bloom *et al.*, 1956). La curiosité de l'enfant est aussi mobilisée, celui-ci cherchant à comprendre les multiples interactions entre les êtres vivants qui l'entourent.

Les liens entre présence de végétation et productivité au travail sont de plus en plus étudiés. Bringslimark *et al.* (2007) ont ainsi découvert une relation positive entre présence de plantes d'intérieur et productivité au travail. Mais les bienfaits pourraient aller au-delà de la seule productivité : vitesse de réaction, créativité, concentration, sont autant d'impacts bénéfiques apportés par la présence de plantes au travail (Nieuwenhuis, 2017). Aux États-Unis, la diminution de productivité due à la déconcentration a ainsi été estimée à 588 milliards de dollars par an (Spira et Feintuch, 2005). Face à ces enjeux grandissants, le rôle de la nature reste cependant modéré.

Ces multiples interactions entre biodiversité et capacités d'apprentissage ont été formalisées dans la *théorie de la restauration de l'attention* de Kaplan et Kaplan (1989), qui dépeint le rôle de la nature dans la récupération des ressources cognitives. Les auteurs distinguent ici deux formes d'attention :

→ *L'attention dirigée*, qui soutient notre concentration lors d'une tâche à réaliser ;

→ *L'attention involontaire*, qui, lorsqu'elle est captée, permet la restauration de l'attention dirigée.

Les milieux urbains sont particulièrement épuisants car ils demandent une attention permanente : trafic, travail, bruit, lumière, *etc.* (Berman *et al.*, 2008). Les espaces de nature (*e.g.* forêt ou parc urbain) ont au contraire des effets positifs sur la restauration de l'attention (Karmanov et Hamel, 2008). Quelques minutes suffiraient à en ressentir les bénéfices (Lee *et al.*, 2015). Dans un espace de nature, notre attention n'est pas dirigée : elle est totalement libre et nous pouvons, sans effort, laisser libre court à nos pensées. La nature a donc la capacité de renouveler notre attention et de diminuer notre fatigue mentale.

Bénéfices culturels de la biodiversité

Pour l'UNESCO⁽²²⁾, la culture est « un ensemble complexe qui inclut savoirs, croyances, arts, positions morales, droits, coutumes et toutes autres capacités et habitudes acquis par un être humain en tant que membre d'une société ».

En quelques siècles, l'être humain s'est peu à peu éloigné de ses liens avec la nature pour fonder une société où il la contrôle (CCNE, 2017). Les progrès réalisés par les sociétés humaines sont principalement le fait de la technologie, de la mécanisation et de l'amélioration des techniques. Toutefois, ils se font parfois faits au détriment des dynamiques

(22) UNESCO. Diversité culturelle. Accessible sur <http://www.unesco.org/new/fr/social-and-human-sciences/themes/international-migration/glossary/cultural-diversity/>

Pollution sonore, santé et biodiversité

Bruits de moteurs, de trains, klaxons, travaux, voisinage, établissements de restauration... La pollution sonore est inévitable en milieu urbain mais également en zones péri-urbaines et rurales. Bien qu'il existe indéniablement une forme d'accoutumance aux bruits qui peut limiter la perception de leurs impacts sur notre santé, les effets de cette pollution sonore sont nombreux. En amenuisant notre bien-être et en augmentant notre stress général (Basner *et al.*, 2014), la pollution sonore est une véritable problématique de santé publique.

Les conséquences sanitaires d'une exposition prolongée au bruit ne peuvent être réduites aux seuls effets auditifs. Les travaux de recherche soulignent une forte corrélation entre l'exposition au bruit ambiant et la dégradation de la santé humaine. Il existe de nombreux impacts extra-auditifs de la pollution sonore sur la santé, parmi lesquels la perturbation du sommeil et ses conséquences, ainsi que les maladies cardiovasculaires.

L'altération chronique du sommeil entraîne une diminution de sa qualité et de son effet réparateur. Au quotidien, le manque de sommeil peut entraîner du diabète, de l'hypertension, des somnolences, une diminution de la productivité, une baisse de l'attention, une atteinte au bien-être et des risques d'hypertension (Münzel *et al.*, 2014). L'effet direct de la réduction voire de l'annihilation de l'effet réparateur du sommeil impacte ainsi l'ensemble du corps.

L'exposition à des niveaux de pression acoustique importants est une cause de développement de maladies cardiovasculaires. Le bruit entraîne en effet une augmentation du rythme cardiaque et une vasoconstriction⁽¹⁾ des vaisseaux sanguins, augmentant

ainsi les risques cardiovasculaires tels que l'hypertension artérielle (EY France, 2016).

Le bruit ambiant est un problème environnemental majeur : seule la pollution atmosphérique est plus importante en termes de morbidité. Les conséquences sont telles que l'OMS et le monde de la recherche publient régulièrement des travaux à ce propos. En 2018, l'OMS a présenté un guide de lignes directrices par source de bruit, facilitant la prise en compte des recommandations émises par les décideurs et acteurs des territoires, en particulier pour la gestion du bruit dû aux éoliennes, aux loisirs et aux trafics (aérien, ferroviaire et routier) (WHO, 2018c).

Ainsi, près de 52 millions de français seraient aujourd'hui affectés par le bruit du trafic routier et 7 millions par des niveaux sonores dépassant 65 décibels (EY France, 2016). L'Agence européenne pour l'environnement estime à 10 000 le nombre de morts prématurées et à 43 000 les hospitalisations dues à la pollution sonore chaque année (EEA, 2014). Selon une étude de EY France (2016), le coût sanitaire du bruit des transports seul s'élève à 11,5 milliards d'euros par an en France (maladies cardiovasculaires, perte de productivité, troubles de l'apprentissage, accidents).

Il existe toutefois des solutions permettant de limiter la pollution sonore. La nature est en capacité de participer à la réduction du bruit en lui-même (en appui des infrastructures anti-bruit) et de jouer un rôle important dans l'amélioration de la perception de l'environnement sonore.

Si les infrastructures vertes participent à cette réduction de la pollution sonore (Van Renterghem *et al.*, 2015) via l'absorption, la réflexion et la diffraction du bruit (Forsséna *et al.*, 2014), les effets peuvent être marginaux et dépendent largement du type d'espace de nature

étudié. Il a ainsi été montré que les arbres, en densité importante, sont à même de participer à une réduction du bruit (Van Renterghem, 2013), plutôt par un effet d'éloignement que par un réel effet écran.

Étant donné leur efficacité relative, les éléments de nature sont principalement installés en complément des barrières anti-bruit. Ils permettent ainsi de renforcer la performance des écrans (Forsséna *et al.*, 2014) tout en améliorant l'esthétisme global des infrastructures.

La contribution des espaces de nature à l'amélioration de l'environnement sonore est en fait particulièrement liée à la perception des individus. La présence d'espaces de nature réduit les désagréments liés à la pollution sonore sur le long terme tels que l'apparition de troubles mentaux liés à la détérioration du bien-être et à l'augmentation du stress (Brambilla *et al.*, 2013 ; Gidlöf-Gunnarsson et Öhrström, 2007). Une étude conduite par De Coensel *et al.* (2011) a montré que les chants d'oiseaux et l'écoulement de l'eau diminuent de manière importante la perception du bruit lié au trafic routier par les populations avoisinantes. La nature est ainsi en capacité de participer positivement à l'élaboration d'une ambiance sonore favorable à la santé humaine.

La biodiversité ne pouvant résoudre intégralement les problématiques de pollution sonore, une réflexion plus globale doit être portée sur la réduction des sources du bruit. À travers des mesures de gestion du trafic routier (Ten Brink *et al.*, 2016) et le déploiement d'études visant à prendre en compte les enjeux de la pollution sonore dans l'aménagement et l'urbanisme, les acteurs sont en mesure d'adapter leurs territoires à travers la mise en œuvre de solutions réelles et perceptibles afin de limiter les impacts des pollutions sonores.

(1) Diminution de la taille des vaisseaux sanguins

→ fonctionnelles des écosystèmes, entraînant ainsi une déconnexion progressive avec la nature.

L'être humain devrait au contraire (re)créer une connexion avec la biodiversité pour ses multiples bienfaits sur sa santé.

Le manque de contacts avec la nature entraîne une méconnaissance des valeurs écologiques (Kellert, 2002). Les expériences de nature, dès le plus jeune âge, permettent de développer une prise de conscience autour des enjeux environnementaux et une transmission des valeurs écologiques. Celles-ci sont à l'origine de comportements et de modes de vie plus sains. Une étude a ainsi mis en avant le fait que les adultes ayant eu moins de contacts avec la nature durant l'enfance obtiennent des scores plus faibles dans les tests de santé mentale, accordant moins d'importance aux environnements naturels et ne bénéficiant donc pas de leurs bienfaits (Preuß *et al.*, 2019).

Le bien-être individuel est également lié à la pratique d'activités récréatives. Elles stimulent le partage, la coopération, la prise de décision et la compréhension des différences individuelles et culturelles. Les espaces de nature sont l'occasion

de s'adonner à de nombreuses activités récréatives qui concourent à l'amélioration globale de la santé : sport (Cf. « Nature et activité physique »), observation, relaxation, découverte de la nature, pique-nique, *etc.* (Wyles *et al.*, 2014).

La diversité des écosystèmes, paysages et milieux permet une plus grande variété des expériences de nature et la multiplication des possibilités de développement de l'appréciation esthétique. Une plus grande diversité biologique est associée à un plus haut niveau de satisfaction (Lindermann-Matthies *et al.*, 2010). La détérioration de la biodiversité et l'homogénéisation des paysages mettent en danger cette appréciation esthétique et les bienfaits mentaux qui en découlent, notamment liés à la contemplation.

L'inspiration spirituelle est un aspect important des expériences de nature (Kamitsis et Francis, 2013). Depuis toujours, l'être humain s'inspire de celle-ci pour faire naître des mythes et nourrir sa spiritualité. Les Celtes et les Gaulois sacralisaient par exemple bois, rivières, montagnes et autres éléments de la nature. De nos jours, certaines croyances et traditions perdurent, notamment dans les pays d'Amérique Latine (« Terre-Mère »)

et les pays Scandinaves (mythes issus de la culture celtique). Plus communément, la spiritualité s'exprime désormais sous la forme d'une éthique humaniste alliant biodiversité et santé (Morand et Lajaunie, 2018). De ce fait, la perte de diversité biologique sur certains territoires peut dégrader ce sentiment de développement spirituel et conduire à une détérioration de la santé mentale et du bien-être des populations.

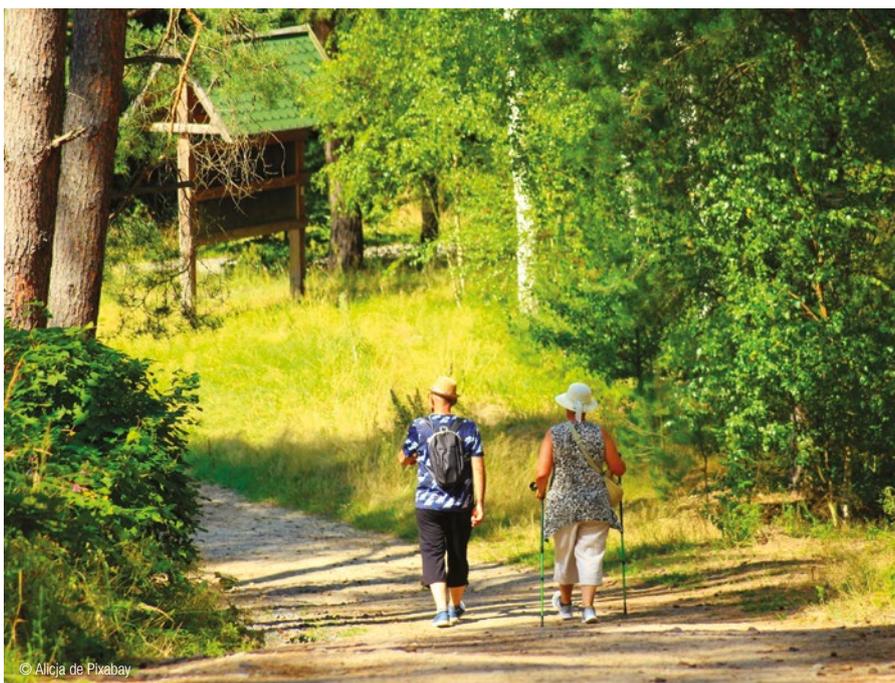
Les liens entre biodiversité, bien-être culturel et santé nécessitent encore d'être approfondis. D'autres travaux doivent être réalisés pour qualifier de manière plus précise les bienfaits fournis par la biodiversité. Ces bénéfices culturels posent la question d'un changement drastique de notre rapport à la nature. L'objectif est donc de développer un contact à la nature dès le plus jeune âge (via l'éducation, les expériences de nature, les sorties).

Bénéfices sociaux de la biodiversité

L'espèce humaine est profondément sociale, son évolution étant fondée sur la coopération et la solidarité intra-espèce. À la fois innée (présence de neurones « miroirs », capacités cérébrales) et acquise (éducation), cette sociabilité doit être entretenue pour le bien-être des individus. Des études ont montré que la solitude⁽²³⁾ renforce le mal-être et accroît les taux de morbidité et de mortalité (Hawkley et Cacioppo, 2010) :

- Risques cardiovasculaires (Caspi *et al.*, 2006) ;
- Pression artérielle accrue (Hawkley et Cacioppo, 2010) ;
- Augmentation des risques d'incident coronaire (+29% de maladies coronariennes et 32% d'attaques cérébrales) (Valtorta *et al.*, 2016) ;
- Déclin des performances cognitives.

(23) Via la diminution des pratiques sportives, une augmentation de la consommation de tabac (Shankar *et al.*, 2011), une réduction de l'estime de soi (McAvay *et al.*, 1996) et de la capacité d'auto-régulation du comportement



© Alicia de Pixabay

Les jardins thérapeutiques

Isabelle Boucq, France
Pringuey et Tamara Singh
Fédération Française
Jardins Nature et Santé

Les jardins thérapeutiques : définition et contexte

Tout jardinier peut intuitivement percevoir le bien et les joies que lui procure son jardin. Fort de ce constat, un jardin thérapeutique, qui accueille des patients et des personnes fragiles, possède des vertus thérapeutiques qui contribuent à l'amélioration de la qualité de vie et au rétablissement des jardiniers. Comme le décrit l'American Horticultural Therapy Association (AHTA), « un jardin thérapeutique est un environnement dominé par les plantes, conçu pour faciliter l'interaction avec les éléments thérapeutiques de la nature ». Cette association poursuit en précisant que « l'hortithérapie consiste à utiliser les plantes et le végétal comme médiation thérapeutique sous la direction d'un professionnel formé à cette pratique pour atteindre des objectifs précis adaptés aux besoins du participant ».

Aux États-Unis, en Angleterre, en Scandinavie ou encore au Japon, ces jardins existent depuis les années 1970 et sont reconnus dans de nombreux établissements : hôpitaux pour enfants, soins palliatifs, unités pour grands brûlés, centres de traitement en addictologie ou encore unités fermées de psychiatrie. Dans ces pays, des hortithérapeutes diplômés créent et animent ces jardins. En France, la médiation thérapeutique a réellement fait son apparition au début des années 2000, même s'il existe quelques expérimentations antérieures à cette période. Malgré l'absence de diplôme, on trouve des jardins thérapeutiques en France, principalement dans les maisons de retraite et dans les hôpitaux psychiatriques, mais aussi dans d'autres établissements (diverses unités en médecine, prisons, instituts médico-éducatifs, etc.). Cet engouement reste cependant impossible à chiffrer en l'absence d'un recensement national.

Les jardins thérapeutiques se caractérisent par certains traits communs tels qu'une conception participative in-

cluant les parties prenantes (personnels, usagers et proches), une accessibilité étudiée pour tous, une profusion significative de plantes et une gestion respectueuse de la biodiversité. Au-delà de ces traits communs, ils sont aussi adaptés à l'esprit du lieu et aux spécificités des usagers qui ont participé à leur conception. Dans un jardin thérapeutique, c'est la relation directe aux plantes et plus globalement à la nature, qui permet d'avoir des effets thérapeutiques. Cette relation est d'autant plus solide que les professionnels accompagnants sont conscients des processus sous-jacents. C'est pourquoi on parle d'une relation triangulaire entre le jardin, les patients et les professionnels de santé.

Les bienfaits des jardins thérapeutiques

Les études s'accordent pour classer leurs bienfaits en quatre grandes catégories qui s'entremêlent : psychologiques, cognitifs, physiques et sociaux.

Sur le plan psychologique, les animateurs de jardins thérapeutiques remarquent de multiples bienfaits : motivation, estime de soi, diminution des symptômes de l'anxiété et de la dépression, régulation des émotions, gestion de l'impulsivité, sentiment d'auto-efficacité et développement de la pleine conscience. Le Dr. Romain Pommier l'a constaté en étudiant le rôle du jardin dans le rétablissement de patients hospitalisés en psychiatrie au CHU de Saint-Étienne : en développant un sentiment d'apaisement, le jardin entraîne une focalisation de la pensée, une capacité à « reprendre pied » avec la réalité, un nouveau pouvoir d'agir qui semblent en mesure d'atténuer les symptômes dépressifs et psychotiques (Pommier, 2016).

Les bienfaits cognitifs sont également nombreux : stimulation de la mémoire, attention, travail du langage, planification, orientation dans le temps et l'espace, etc. Depuis plusieurs années au CHU de Nancy, la neurologue Thérèse Rivasseau-Jonveaux utilise le jardin thérapeutique pour la prise en charge non médicamenteuse de patients atteints de la maladie d'Alzheimer. Les ateliers au jardin sollicitent ainsi la mémoire visuelle, auditive et kinesthésique des patients (Berge *et al.*, 2014).

Les bienfaits physiques peuvent sembler évidents : le jardin encourage le renforcement musculaire, l'équilibre, l'endurance et la motricité fine. Le Dr. Rivasseau-Jonveaux note l'intérêt pour

ses patients de maintenir leurs capacités à se déplacer. Cette opportunité d'activité motrice peut se traduire par une baisse de l'agressivité et des troubles du comportement.

La création d'un jardin thérapeutique dans un établissement médical ou médico-social présente aussi des bénéfices sociaux. On remarque que des patients renfermés acceptent de sortir au jardin et reprennent goût aux relations avec autrui. Au Foyer d'Accueil Médicalisé « la Maison des Aulnes » dans les Yvelines, les résidents cultivent un potager pour les Restos du Cœur, partagent leurs connaissances avec l'école voisine et ont reçu plusieurs prix pour leur jardin. Un jardin thérapeutique est donc un lieu de socialisation au sein et à l'extérieur de l'établissement.

Les jardins sont aussi bénéfiques pour le personnel et les familles. Roger Ulrich et ses collaborateurs ont pu montrer que des infirmières en soins intensifs qui faisaient des pauses dans un jardin plutôt que dans une salle de repos résistaient plus efficacement au burn-out (Cordova *et al.*, 2018). Ce chercheur a également montré qu'un jardin riche et diversifié était plus bénéfique pour les familles de patients hospitalisés en soins intensifs que les environnements intérieurs conçus expressément pour le répit familial et la réduction du stress (Ulrich *et al.*, 2019).

Pistes pour le développement des jardins thérapeutiques

En France, les jardins thérapeutiques souffrent encore de la méconnaissance des décideurs qui doutent de la légitimité de cette méthode de médiation thérapeutique. Un enjeu important pour le développement des jardins thérapeutiques est donc de sensibiliser les décideurs aux bienfaits et co-bénéfices de ces jardins. Aujourd'hui, l'animation des jardins thérapeutiques est portée par des équipes de passionnés, formés sur le tas ou lors de courtes formations. À l'instar des États-Unis, le développement de ces jardins passe par une meilleure reconnaissance et par la création de formations adaptées. Ce sont les conditions indispensables pour que davantage de personnes fragilisées puissent profiter de jardins thérapeutiques.

Aujourd'hui, la Fédération Jardins Nature Santé œuvre à fédérer les acteurs et porteurs de projets afin de promouvoir le développement de ces jardins thérapeutiques.

→ En tant qu'espèce sociale, l'être humain doit avoir des liens sociaux avec ses semblables pour développer un sentiment d'appartenance. Il a été prouvé que les relations sociales ont un effet important sur la diminution des risques de mortalité (Holt-Lunstad, 2010).

L'environnement physique (foule, bruit, pollution, lieu) agit profondément sur le comportement individuel et sur les interactions sociales. Une réflexion approfondie autour des caractéristiques physiques d'un espace est donc en mesure d'améliorer les interactions sociales entre humains (Coley *et al.*, 1997). Pour contrecarrer le phénomène de tarissement de la cohésion sociale, les espaces de nature sont à plébisciter.

Dans les espaces de nature, les interactions sociales se créent assez spontanément. Du fait de leur caractère public, ce sont des lieux où les gens se rencontrent et se retrouvent. Ils ont donc des impacts positifs sur l'humeur des individus, qui sont en retour plus disposés à échanger et partager. Les

espaces de nature facilitent aussi la pratique sportive, vectrice d'interactions sociales. Les espaces verts doivent donc être accessibles et permettre l'accès au plus grand nombre, et en particulier aux personnes les plus vulnérables et isolées (Ten Brink *et al.*, 2016).

Les jardins partagés sont particulièrement vecteurs de redynamisation des interactions sociales. Lieux de rencontres intergénérationnelles, ils permettent une forte mobilisation des citoyens et l'organisation de manifestations collectives diverses. La dimension sociale et participative des jardins partagés doit donc être au cœur de leur construction. Les jardins partagés sont ainsi à l'origine de plus de contacts humains et entraînent une diminution de la solitude (Van den Berg, 2010).

Au-delà des interactions sociales, c'est bien la cohésion sociale qui est améliorée par les espaces de nature. De Vries *et al.* (2013) ont ainsi mis en évidence la corrélation entre la végétalisation urbaine et la cohésion sociale perçue.

Plus spécifiquement, des études ont été menées sur les liens entre criminalité et présence d'espaces verts. La présence d'espaces verts peut être associée à la délinquance et à la peur, la végétation pouvant permettre la dissimulation, les actes de criminalité, de délinquance ou les pratiques illicites (Michal et Hull, 1994).

Toutefois, Kuo et Sullivan (2001) soulignent que la présence d'espaces verts conduit à une diminution globale de la criminalité. Les prairies, canopées, et parterres de fleurs (par exemple) sont par exemple des espaces rassurants et enclins à la création de liens sociaux (Kuo et Sullivan, 2001).

Conclusion

Les liens entre la diversité biologique et la santé humaine peuvent être parfois difficiles à cerner, les interactions étant majoritairement complexes, différées dans le temps et l'espace et pour la plupart indirectes (MEA, 2005). Cette complexité a rendu ardue l'intégration d'analyses économiques avancées au sein de la publication, notamment en raison des difficultés à établir des corrélations quantitativement directes entre la perte de biodiversité et la dégradation de la santé publique. De nombreuses incertitudes demeurent aujourd'hui quant au chiffrage précis des coûts évités en matière de santé.

La présente publication a particulièrement souligné la nécessité d'une approche commune des enjeux et interdépendances entre santé et biodiversité. Elle fait l'état des lieux de leurs différentes interrelations et servira de base à la Mission Économie de la Biodiversité pour une analyse économique approfondie de certains pans du sujet, nécessaire à une meilleure appropriation des enjeux par les acteurs concernés. L'objectif sera alors de renforcer les connaissances sur trois éléments saillants identifiés, pour lesquels il est nécessaire d'agir avec vigueur : la transition agroalimentaire, la durabilité des villes et la reconnexion à la nature. ■



© Estelle Alquier

INVENTER

LES IMPACTS DU SECTEUR DE LA SANTÉ SUR LA BIODIVERSITÉ ET LES SOLUTIONS POUR Y REMÉDIER

Si la partie « Comprendre » a dressé le rôle essentiel de la biodiversité dans la qualité de la santé humaine, cette partie « Inventer » s'évertuera à montrer que ce n'est pas sans répercussions : les impacts du secteur de la santé sur la biodiversité (et l'environnement en général) s'observent ainsi à différents niveaux.

Exploitation de la biodiversité à des fins thérapeutiques

De tous temps, les substances naturelles⁽¹⁾ ont été à la base de la médecine humaine : d'abord simplement consommées, puis extraites et plus récemment synthétisées chimiquement. Ainsi Ötzi, dont le corps a été retrouvé plus de 5000 ans après avoir été congelé dans un glacier des Alpes italiennes, portait avec lui une bourse contenant des Polypores du bouleau (*Piptoporus betulinus*), un champignon aux vertus anti-inflammatoires et antibactériennes, dont des fragments ont été retrouvés dans ses intestins (Zink *et al.* 2019).

Au niveau mondial, le marché à grande échelle des substances naturelles représente plus de 500 000 tonnes en volume annuel (pour 2,5 milliards de dollars) et concerne environ 60 000 espèces utilisées pour leurs propriétés médicinales, nutritionnelles ou aromatiques (UN Comtrade, 2013 ; WHO et CBD 2015). Mais la quête des précieux principes actifs naturels contenus dans les espèces végétales, animales ou dans les micro-organismes peut entraîner la surexploitation de ces espèces ; en grandes quantités lorsqu'il s'agit de l'extraction des principes actifs, ou de manière plus extensive pour la recherche de nouvelles molécules.

(1) Produites par un organisme vivant, se trouvant dans la nature



Si dans les pays occidentaux les traitements thérapeutiques reposent en grande partie sur l'utilisation de molécules de synthèse (y compris inspirées des molécules naturelles), l'OMS estime qu'à l'aube des années 2000, 80% de la population mondiale avait principalement recours à une médecine basée sur la faune et la flore. Parallèlement, les médecines douces et d'origine naturelle rencontrent un engouement croissant dans les civilisations occidentales. La demande en ingrédients issus de plantes ou d'animaux ne cesse de croître, parfois jusqu'à une exploitation non soutenable de certaines espèces (Kang et Phipps, 2003). C'est le cas par exemple du Prunier d'Afrique (*Prunus Africana*) et du Yohimbe (*Pausinystalia yohimbe*) qui sont massivement prélevés dans les milieux naturels pour alimenter le marché international, sans stratégie de préservation de la ressource (Alves et Rosa, 2007).

Depuis 1973, environ 200 espèces de plantes médicinales ont été inscrites sur la liste de la Convention de Washington⁽²⁾ et dans un rapport datant de 2003, le WWF estimait à 50 000 le nombre d'espèces de plantes médicinales collectées dans la nature, dont 4 000 à 10 000 pourraient aujourd'hui être en danger (Hamilton, 2003). Les espèces animales ne sont pas épargnées. Les médecines chinoises et coréennes font, depuis plusieurs millénaires, largement usage de tissus ou organes prélevés sur des espèces aussi menacées que le rhinocéros (corne), le tigre (os), ou le pangolin (écailles et musc), bien qu'elles soient inscrites sur la liste de Washington et que les gouvernements œuvrent pour leur protection (Still, 2003 ; Kang et Phipps, 2003).

(2) Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction

→ Bien qu'elle suscite moins d'attention que la pression directe sur les espèces, la modification des aires géographiques des espèces est, du fait de leur exploitation, tout aussi impactante lorsque l'on se place d'un point de vue évolutif. Tout comme les voyageurs et explorateurs antiques ont transporté et acclimaté les plantes et essences à la base de leur alimentation⁽³⁾ (Fowler, 2004), de nombreuses espèces de plantes médicinales ont été propagées à travers le monde, accompagnant les mouvements de populations ou répondant à des stratégies plus spécifiques d'amélioration des flores médicinales locales (Beinart et Middleton, 2004 ; Voeks, 2004).

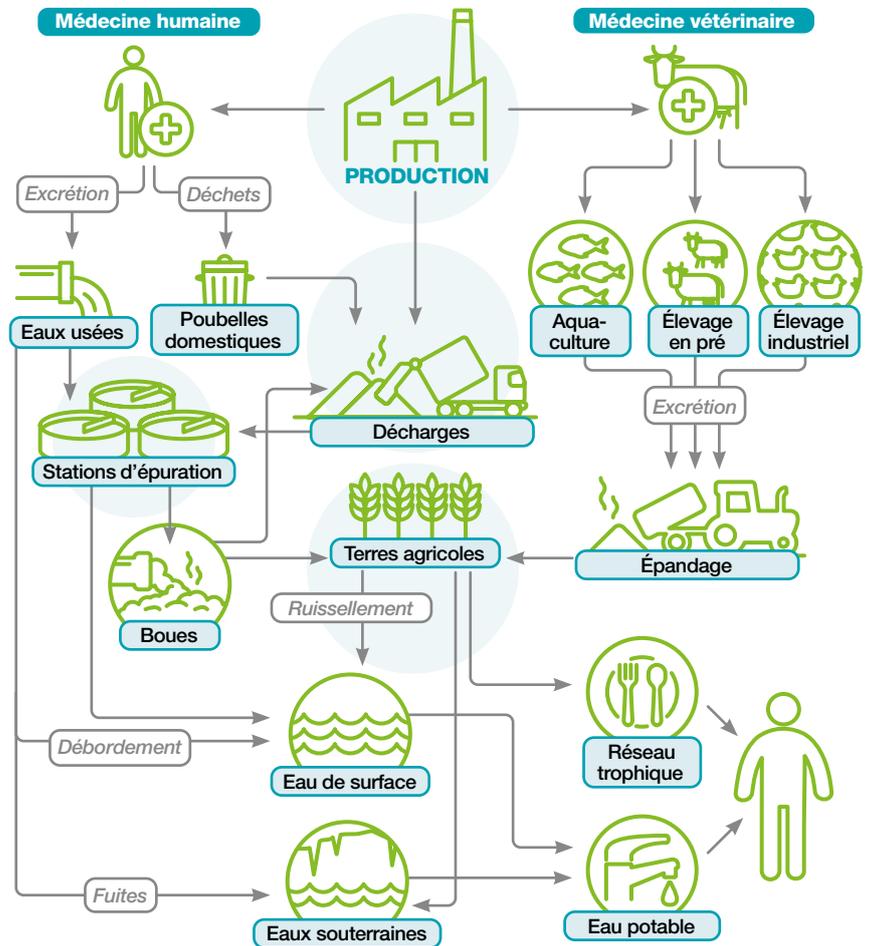
Nécessaire à leur développement et source de progrès, le médicament a été considéré par les sociétés comme un moyen d'améliorer la santé humaine. La vision « 100% bénéfique » du médicament est toutefois en train de changer. Aujourd'hui, la science démontre que ces substances peuvent être des polluants et qu'elles entraînent des effets non intentionnels sur la santé humaine et sur l'environnement (Steichen et Antri-Bouzar, 2015). Si l'élaboration des médicaments impacte les êtres vivants qui servent à leur fabrication, le rejet dans la nature de résidus médicamenteux issus de leur consommation ou du processus de leur fabrication altère plus largement l'ensemble des écosystèmes.

Les résidus médicamenteux dans l'environnement

La France est le 1^{er} consommateur européen de médicaments vétérinaires (300 molécules) et le 4^e consommateur mondial de médicaments humains (3000 molécules).

(3) Le riz est originaire de Chine centrale, le pommier et l'amandier d'Asie centrale, la vigne du Caucase, etc.

Figure 8 : Routes d'entrées chroniques des PPCP dans l'environnement (adapté de Ebele *et al.*, 2017)



La présence de résidus médicamenteux et de produits d'hygiène (PPCP)⁽⁴⁾ dans l'environnement est générée par des rejets intervenant tout au long du cycle de vie des médicaments (Jançon *et al.*, 2008) :

- La fabrication des principes actifs et spécialités pharmaceutiques⁽⁵⁾
- L'utilisation en milieu hospitalier, ambulatoire ou en médecine vétérinaire
- La gestion de l'armoire à pharmacie des particuliers

(4) Selon l'acronyme anglais « *pharmaceuticals and personal care products* »

(5) La spécialité pharmaceutique est définie à l'article L5111-2 du code de la Santé Publique comme « tout médicament préparé à l'avance, présenté sous un conditionnement particulier et caractérisé par une dénomination spéciale » et désigne notamment le nom de marque commerciale d'un médicament.

→ La collecte et la destruction des médicaments non utilisés

À partir des années 2000, les recherches portant sur la présence, le devenir ou l'impact des PPCP dans l'environnement se sont multipliées : 1800 articles publiés en 2015, contre 200 durant l'année 2000 (Daughton, 2016), traduisant une préoccupation grandissante des scientifiques mais aussi des pouvoirs publics. Parallèlement, une campagne⁽⁶⁾ lancée par le ministère chargé de la santé et l'ANSES⁽⁷⁾ a révélé que 65% des eaux brutes superficielles et 30% des eaux

(6) Dans le cadre du Plan National Santé Environnement (PNSE)

(7) Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

brutes souterraines présentaient au moins une des 16 molécules retrouvées (caféine, anxiolytique, antalgique, anticonvulsif, etc.) à des teneurs supérieures à la limite de quantification. Il est à noter que les traitements de potabilisation des eaux brutes permettent de faire diminuer le nombre de molécules retrouvées, sans toutefois parvenir à un abattement intégral.

Selon les substances médicamenteuses et les différentes catégories d'eau, les concentrations retrouvées varient de manière importante. Elles s'étendent du nanogramme par litre dans les eaux superficielles douces ou marines, les eaux souterraines et les eaux destinées à la consommation humaine, jusqu'au microgramme, voire à plusieurs centaines de microgrammes par litre dans les effluents et les eaux résiduaires. La situation est très inégale selon les pays en fonction de leur développement socio-économique, de l'accès aux soins et de leur réglementation.

Durant de nombreuses années, les rejets des stations d'épuration et des élevages étaient désignés comme principaux vecteurs d'introduction des résidus médicamenteux, les contrôles et pratiques mises en œuvre dans l'industrie du médicament apparaissant comme une garantie de sécurité.

Pourtant, en 2007, une étude de Larsson sur les produits pharmaceutiques contenus dans les effluents d'un important site de production de médicaments génériques révèle une importante présence de PPCP. Parmi les 59 produits pharmaceutiques analysés, 11 ont été détectés à des concentrations pouvant atteindre 100 µg/L et la ciprofloxacine (un antibiotique) a même été mesurée à 31 000 µg/L, une concentration 1 000 fois supérieure au seuil de toxicité bactérien. Depuis, d'autres études à travers le monde ont confirmé que les effluents des producteurs de PPCP présentaient une grande variété de molécules telles que les antibiotiques, les anti-inflammatoires, les opioïdes et les relaxants musculaires rejetés ensuite dans les écosystèmes aquatiques récepteurs (Phillips *et al.*, 2010 ; Sim *et al.*, 2011 ; Yu-Chen Lin et Tsai, 2009). Les différents

circuits d'introduction des résidus médicamenteux dans l'environnement sont désormais bien connus (Figure 8).

Face à l'ubiquité de la contamination et à la disparité des données générées par les études scientifiques, l'Agence fédérale allemande pour l'environnement (UBA) construit, depuis 2016, **une base de données mondiale** recensant près de 125 000 mesures de concentrations environnementales de substances pharmaceutiques. Les 71 pays pour lesquels des mesures ont été réalisées présentent tous au moins une molécule dans leur milieu aquatique, et jusqu'à 200 molécules pour certains.

Impacts des résidus médicamenteux dans l'environnement

Si la présence dans l'environnement des PPCP a largement été démontrée (1166 publications)⁽⁸⁾, les données relatives à leur présence dans le biote sont bien plus éparpillées avec seulement 43 publications référencées. Les données sur l'impact de ces molécules sur les organismes vivants,

à des doses cohérentes avec les données de contamination chronique sont encore plus rares (Miller *et al.* 2018).

Pourtant, ces composés conçus pour être biologiquement actifs (modulation des systèmes endocrinien et immunitaire, etc.) et dont la durée de demi-vie⁽⁹⁾ dans le milieu peut être relativement longue (50 jours pour l'ibuprofène en milieu aquatique) peuvent s'accumuler dans les organismes non-cibles et entraîner des dérèglements du système métabolique, excréteur ou de détoxification. Des paramètres tels que le stade de développement ou l'âge des individus exposés peuvent modifier leur sensibilité aux résidus médicamenteux. Par ailleurs, les écosystèmes ne sont pas exposés à des molécules isolées, mais à un cocktail de molécules (résidus médicamenteux, pesticides, plastifiants, etc.) dont les effets sont parfois synergiques.

Que ce soit dans l'environnement naturel ou en conditions contrôlées, il a été démontré que l'exposition aux résidus médicamenteux peut induire des effets néfastes sur les organismes vivants au niveau individuel mais également populationnel (Figure 9). Leur persistance

(8) Référencées par aus der Beek *et al.*, (2016)

(9) Temps mis par une substance pour perdre la moitié de son activité pharmacologique ou physiologique.



© FDPPMA63

→ dans le milieu⁽¹⁰⁾ et leur conception visant à maximiser leurs effets font des PPCP des molécules potentiellement écotoxiques.

Le cas des hormones et stéroïdes de synthèse

Le cas le plus documenté de produits pharmaceutiques affectant directement des organismes dans l'environnement concerne l'œstrogène synthétique EE2 (Ethinylestradiol) (Corcoran *et al.* 2010). Des tests en conditions contrôlées ont désigné l'EE2 comme un puissant perturbateur physiologique chez les poissons, y compris à des concentrations environnementalement réalistes. En

présence de l'EE2, on observe ainsi une féminisation des poissons (Kidd *et al.*, 2007) pouvant aboutir *a fortiori* à un effondrement des populations.

En 2011, lorsque des pêcheurs de la Dore (Puy de Dôme) rapportent des anomalies morphologiques sur des goujons sauvages (*Gobio gobio*), Sanchez *et al.* (2011) se tournent vers les effluents d'une usine de production de médicaments située en amont. L'étude révèle que les poissons prélevés en aval de l'effluent industriel présentent de forts signes de perturbation du système endocrinien, notamment l'induction de la vitellogénine, la présence d'intersex et un sex-ratio déséquilibré. Ces effets mesurés au niveau individuel sont associés à une diminution des espèces de poissons sensibles à la qualité

de l'eau telles que la truite (*Salmo trutta fario*) et le chabot (*Cottus gobio*), et à une augmentation de la loche franche (*Barbatula barbatula*), espèce résistante à la détérioration de la qualité de l'eau. La dégradation de l'assemblage des communautés de poissons entre les sites en amont et en aval a été confirmée par une diminution de la densité globale de poissons.

Les résidus médicamenteux ne sont pas les seules molécules à entraîner des perturbations de la reproduction et du système hormonal des organismes. Les perturbateurs endocriniens rassemblent ainsi une large gamme de molécules (hormones de synthèse, pesticides organochlorés, herbicides, plastifiants, phtalates, dioxines, PCB, hydrocarbures

(10) Causée par l'apport continu en molécule plus que par la durée de vie desdites molécules

Figure 9: Exemples d'impacts de molécules médicamenteuses sur des organismes vivants (d'après aus der Beek *et al.*, 2016)

ESPÈCE IMPACTÉE	MOLÉCULE	EFFET	ÉCHELLE SPATIALE
 Gyps bengalensis (Vautour chaugoun)	Diclofenac (anti-inflammatoire)	Extinction massive due à une insuffisance rénale	Sous-continent
 Oncorhynchus mykiss (Truite arc-en-ciel)	Diclofenac (anti-inflammatoire)	Foie, reins et branchies fortement affectés	Expérimentation <i>in vitro</i>
 Zea mays (Maïs) / Salix fragilis (Saule fragile)	Sulfonamide (antibiotique)	Effet délétère sur la croissance racinaire	Expérimentation <i>in vitro</i>
 Rana pipiens (Grenouille léopard)	Fluoxetine (antidépresseur)	Retard de développement du têtard	Expérimentation <i>in vitro</i>
 Perca fluviatilis (Perche commune)	Oxazepam (anxiolytique)	Altération du comportement et du taux d'alimentation	Expérimentation <i>in vitro</i>
 Famille des Scathophagidae et coléoptères	Ivermectin (antiparasitaire)	Mortalité des œufs et larves	Expérimentation <i>in vitro</i> et <i>in situ</i>
 Anabaena flosaquae / Lemna minor (Petite lentille d'eau)	Enrofloxacin, Ciprofloxacin (antibiotique)	Inhibition de la croissance	Expérimentation <i>in vitro</i>

aromatiques polycycliques (HAP), retardateurs de flamme, *etc.*) dont les impacts sur l'environnement sont largement documentés (Porcher, 2009).

Le cas des antibiotiques

En 1928, Alexander Flemming découvre les antibiotiques qui seront largement utilisés en médecine humaine et vétérinaire pour lutter contre les maladies infectieuses, puis comme facteurs de croissance dans les élevages (avant d'être interdits en 2006 en Europe). Cette utilisation massive est rapidement suivie par la découverte de résistances chez des bactéries pathogènes comme les salmonelles. La résistance des bactéries aux antibiotiques devient alors une préoccupation majeure dans le domaine de la santé animale et humaine. L'émergence de souches bactériennes résistantes voire multi-résistantes aux antibiotiques représente aujourd'hui une véritable menace sanitaire à l'échelle mondiale. L'attention est focalisée sur le développement des populations microbiennes résistantes, incluant des organismes pathogènes contre lesquelles il n'existe qu'un nombre restreint de traitements (voire aucun dans le cas de bactéries pan-résistantes).

Une attention particulière est portée aux sols qui abritent une diversité de micro-organismes essentiels à la régulation des grands cycles globaux tels que ceux de l'eau, du carbone ou de l'azote, eux-mêmes au cœur de grands enjeux planétaires tels que la sécurité alimentaire, le changement climatique, la disponibilité en eau ou la biodiversité (Cf. Figure 10). La contamination des sols (via l'épandage) par les antibiotiques affecte les communautés microbiennes du sol à différents niveaux (Cycoń *et al.*, 2019):

→ L'abondance des micro-organismes qui y vivent ainsi que la structure des populations et l'activité microbienne globale (une diminution significative de la respiration du sol a été rapportée pour



des sols soumis à diverses molécules ; le taux de nitrification ou dénitrification est aussi influencé) ;

→ La structure des populations, certaines espèces étant plus tolérantes que d'autres. Des effets sur la diversité fonctionnelle, structurelle et génétique des micro-organismes du sol ont également été rapportés (Cycoń *et al.*, 2019). Une contamination aux antibiotiques peut ainsi provoquer un déséquilibre entre la flore bactérienne et la flore fongique moins sensible aux antibiotiques, et entraîner une baisse de la productivité et de la qualité des sols, ainsi que des produits agricoles (Ding et He, 2010) ;

→ Des effets sur la diversité génétique des communautés microbiennes, à travers la mutation et le transfert horizontal de gènes, notamment.

En milieu aquatique, les antibiotiques altèrent également la composition des communautés de micro-organismes, avec des implications sur le réseau trophique microbien et par extension, sur les organismes supérieurs et la santé des écosystèmes (Danner *et al.*, 2019). Des expérimentations ont montré que la présence d'antibiotiques engendre une augmentation de la résistance des bactéries aux antibiotiques et à la prédation

par les protozoaires. Cette adaptation des bactéries se répercute en cascade dans le réseau trophique et entraîne une diminution globale de la densité des prédateurs et de leur diversité, ainsi qu'une augmentation des fluctuations temporelles des populations bactériennes et ennemies entraînant une instabilité des populations (Friman *et al.*, 2015).

Le cas du Diclofenac®

Au début des années 2000, plusieurs études (Gilbert *et al.*, 2002 ; Green *et al.*, 2004 ; Oaks *et al.*, 2004 ; Shultz *et al.*, 2004) rapportent la disparition quasi totale des populations de vautours *Gyps indicus* et *Gyps tenuirostris* du subcontinent indien. Les études menées démontrent que la mortalité élevée des adultes et jeunes adultes résulte d'une insuffisance rénale et de l'accumulation d'acide urique dans le corps de l'individu. Une corrélation directe entre résidus de Diclofenac® et insuffisance rénale est mise en lumière, à la fois par exposition orale expérimentale et en nourrissant les vautours avec du bétail traité. Dans un pays où les animaux morts ne sont pas collectés et servent d'alimentation aux charognards, la

→ contamination de 10% des carcasses sur lesquelles se nourrissaient les vautours a suffi à décimer les populations.

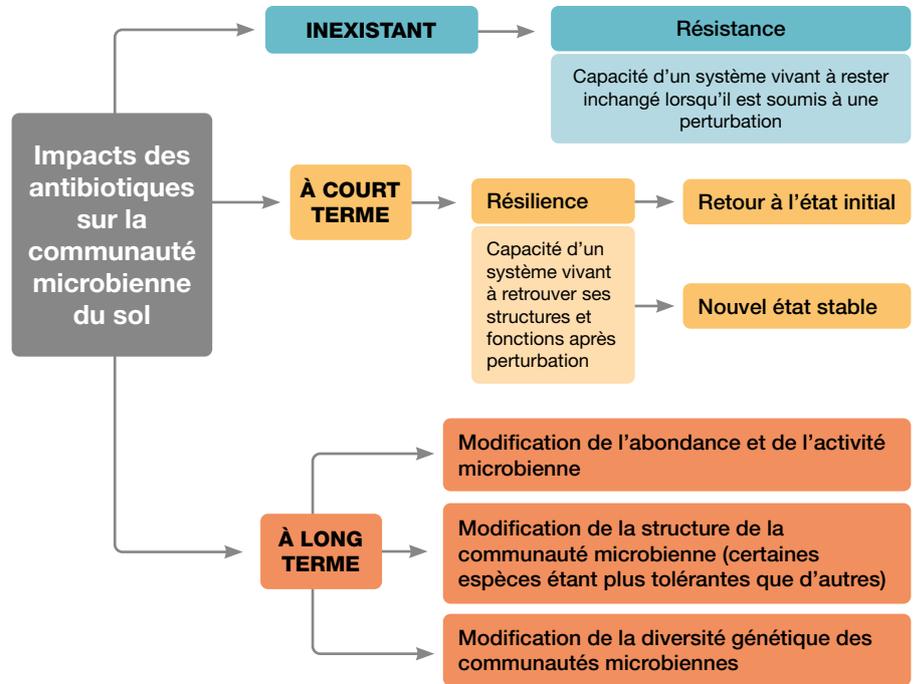
La disparition massive des vautours a eu des conséquences socio-économiques, environnementales et sanitaires en cascade (Markandya *et al.*, 2008). En effet, la disparition des vautours qui sont des charognards exclusifs⁽¹¹⁾, a entraîné une pullulation des chiens errants, principaux vecteurs de la rage en Inde, qui ont bénéficié de l'abondance des carcasses. Les chiens n'étant pas d'aussi bon nettoyeurs que les vautours, les autorités ont donc dû mettre en place des systèmes de collecte et en assumer les coûts. L'activité économique a également été touchée, car la vente d'os comme fertilisant pour l'industrie était un commerce ancestral des indigents indiens, que l'évacuation organisée des carcasses fit disparaître laissant les plus démunis privés de leurs maigres subsides. Le secteur touristique fut également touché par la chute de l'attractivité touristique de certaines zones réputées pour leurs populations de rapaces. Enfin ce bouleversement de l'écosystème a eu des répercussions jusqu'aux sphères culturelles et religieuses, car les vautours occupent une place importante en Inde, et particulièrement dans certaines communautés comme les Parsis⁽¹²⁾.

L'utilisation du Diclofenac® est maintenant interdite en Inde, au Népal, au Bangladesh, en Iran et au Pakistan, ce qui a ralenti le déclin des vautours. En Europe, trois pays (l'Espagne, l'Italie et l'Estonie) autorisent encore la mise sur le marché de médicaments vétérinaires contenant ce composé.

(11) Qui se nourrissent exclusivement de carcasses, et qui participent donc à leur élimination

(12) Les Parsis vénèrent le feu, l'eau et la terre et ne pratiquent ni la crémation ni l'inhumation, les corps des défunts sont exposés dans les tours du silence ou dakhmâ de façon à être décharnés par les vautours.

Figure 10: Effets potentiels des antibiotiques sur les communautés microbiennes du sol (adapté de Cycoñ *et al.*, 2019)



Le cas des nanomédicaments

Capables de passer les barrières biologiques pour une action ciblée, les nanomédicaments sont porteurs d'espoirs thérapeutiques dans de nombreux domaines (amélioration des diagnostics par imagerie médicale, cancérologie, lutte contre la douleur, *etc.*). Les nanovecteurs ciblés, spécifiques à certains types cellulaires, sont ainsi développés pour libérer une substance active sans induire de toxicité dans d'autres types cellulaires. En 2013, Etheridge *et al.* répertoriaient 247 nanomolécules thérapeutiques approuvées ou en cours de développement, tout en précisant que cet éventail de molécules ne donnait qu'un aperçu minime du potentiel de la nanomédecine.

Bien qu'à ce jour aucune étude n'ait révélé l'impact des nanomédicaments sur l'environnement, les données des études *in vitro* indiquent des effets toxiques (stress oxydatif, cytotoxicité, génotoxicité)

sur divers organismes (bactéries, algues, invertébrés, poissons et mammifères) (Minetto *et al.*, 2016 ; Walters *et al.*, 2016). Par exemple, plusieurs études ont mis en évidence les effets toxiques des nanoparticules de dioxyde de titane contenues dans les crèmes solaires sur des organismes aquatiques et marins : inhibition de la croissance algale et du phytoplancton (Sánchez-Quiles et Tovar-Sánchez, 2014) et sensibilité aux pathogènes accrue chez les poissons. En 2015, Wu *et al.* ont également démontré que de faibles doses de nanomolécules d'oxyde de zinc et de cuivre (également présentes dans les crèmes solaires) rendaient les embryons d'oursin plus sensibles aux effets des autres polluants. Sur la base de ces études réalisées *in vitro*, il est possible d'extrapoler que les résidus de nanomédicaments relargués dans les milieux puissent, à l'instar des résidus médicamenteux classiques, affecter les organismes vivants et les écosystèmes (Moore, 2006).

Les solutions pour limiter l'impact des résidus médicamenteux sur l'environnement

La présence de résidus de médicaments dans l'environnement est devenue, depuis une dizaine d'années, une préoccupation centrale des institutions gouvernementales, des scientifiques et des ONG.

Impulsion non gouvernementale et leviers réglementaires

L'influence de diverses initiatives internationales joue un rôle primordial dans la prise en compte de la problématique et la mise en place de solutions :

- La Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (OSPAR) a été la première entité à reconnaître officiellement la contamination pharmaceutique (OSPAR, 2002) et répertorie à présent 25 produits pharmaceutiques comme contaminants potentiellement préoccupants ;
- Le réseau NORMAN (Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances) collecte et harmonise les connaissances et méthodes analytiques sur les contaminants de l'environnement recueillies lors de campagnes de surveillance ;
- L'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) a également dédié plusieurs publications à la problématique des « polluants émergents dans l'eau » (UNESCO et HELCOM, 2017).

En 2015, lors de l'International Conference on Chemicals Management (ICCM), l'industrie pharmaceutique et les agences non gouvernementales se sont accordées sur la nécessité de mettre en place des protections contre la « pollution médicale » (Nature editorials, 2015).

Ces initiatives internationales associées à la mobilisation des scientifiques sont à l'origine de la mise en place de plusieurs plans nationaux français visant à améliorer

les connaissances sur le sujet des résidus médicamenteux et à limiter leurs impacts, parmi lesquels :

- Le Plan national Santé-Environnement 2 (2009) avec son action 47 « *Améliorer la connaissance et réduire les risques liés aux rejets de médicaments dans l'environnement* »
- Le Plan national Santé-Environnement 3 (2015) avec son action 46 « *Travailler sur la disponibilité et le partage des données permettant de connaître le danger et l'exposition pour les résidus de médicaments humains et vétérinaires dans les eaux* »
- Le Plan national sur les résidus de médicaments dans les eaux (2011-2015) qui comprenait 3 axes : (i) évaluer les risques, acquérir des connaissances sur la présence, le devenir et l'impact des résidus de médicaments dans les eaux, (ii) définir les mesures de gestion à court terme, prévention des rejets, réduction des risques et (iii) développer les connaissances et structurer les actions de recherche.
- Le Plan micropolluants pour préserver la qualité des eaux et de la biodiversité (2016-2021). Ce plan intègre toutes les molécules susceptibles de polluer les ressources en eau avec pour mission de réduire les émissions des molécules dont la toxicité est avérée, consolider les connaissances pour adapter la lutte contre la pollution des eaux et préserver la biodiversité, ainsi que dresser des listes de polluants à suivre.

En Europe, la Directive Cadre sur l'Eau adoptée en 2000 (DCE, 2000/60/EC), dont l'objectif est de protéger la qualité des masses d'eaux continentales, inclut des produits pharmaceutiques (antibiotiques, hormones, inflammatoire non stéroïdien) sur une liste de surveillance qui fait l'objet d'un suivi *in situ*⁽¹³⁾.

Si les plans intégrant la problématique des résidus médicamenteux se développent, une réelle attention doit être portée sur leur efficacité et leur mise en œuvre. À cet égard, l'évaluation du PNSE3 par le CGEDD regrette un manque de moyens financiers et humains, une déclinaison territoriale tardive et une impossibilité de

(13) La Directive Cadre Stratégie Milieu Marin (DCSMM, 2008/56/CE), pendant marin de la DCE, adoptée en 2008, ne fait pas mention des médicaments.

mesurer son impact réel. L'accent doit donc être mis sur une meilleure « *visibilité et cohérence des plans sectoriels du champ santé-environnement* », un déploiement régional à la hauteur des enjeux spécifiques et une mobilisation des leviers pour la mise en œuvre de chacune des actions (Pipien et Vindimian, 2018).

Étant donné l'importance des enjeux liés à la santé et à l'environnement, la société et l'ensemble des acteurs doivent se saisir de ce sujet pour créer une réelle impulsion et développer des solutions. Toutefois, ces actions demandent la mise en place de solutions techniques pour réduire la présence de résidus médicamenteux dans les écosystèmes.

Leviers techniques

Les Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP)

En raison des différences dans les propriétés physico-chimiques des résidus pharmaceutiques, dans la configuration des installations de traitement et dans la composition des eaux usées collectées, l'efficacité des traitements mis en œuvre dans les stations d'épuration peut varier de manière significative.

Classiquement, le traitement des eaux usées ne permet pas d'éliminer efficacement la totalité des micropolluants⁽¹⁴⁾, dont font partie les résidus médicamenteux. Sur 118 molécules pharmaceutiques suivies dans les effluents de STEP de certains pays européens (Danemark, Estonie, Finlande, Allemagne, Suède et Russie), seulement neuf ont été éliminées à plus de 95%. Près de la moitié n'ont été éliminées qu'avec une efficacité inférieure à 50% (UNESCO, HELCOM, 2017) et 16 ont même vu leur concentration augmenter.

En Suisse, à la suite d'une modification de la loi rendant obligatoire l'élimination d'au moins 80% des micropolluants en sortie de station d'épuration, de nombreux projets pilotes ont été mis en place pour tester des techniques d'élimination des micropolluants.

(14) On désigne par micropolluants les composés traces présents dans les eaux à des concentrations très faibles (de l'ordre du microgramme ou du nanogramme par litre) et qui même en concentrations infimes peuvent exercer un effet nocif

→ **L'ozonation** est une technique permettant d'oxyder les molécules pour former des molécules plus biodégradables. Les études pilotes suisses montrent l'efficacité de cette méthode avec un abattement systématique de plus de 80% sur 23 des 45 substances mesurées. Les résultats ont été confirmés par le programme communautaire Poséidon qui a mis en évidence l'efficacité de l'ozone dans la destruction des micropolluants ciblés (des résidus de médicaments et de soins corporels). 34 des 35 médicaments ont ainsi été totalement détruits après un traitement d'une vingtaine de minutes. En Suisse notamment, le traitement par ozonation tend à se généraliser dans les grandes et moyennes stations d'épuration, contrairement à la France où il n'est pas encore mis en œuvre⁽¹⁵⁾.

Le charbon actif peut absorber de grandes quantités de polluants dissous. Il est déjà largement utilisé dans les filières de production d'eau potable et pourrait être appliquée pour éliminer les micropolluants en sortie de STEP. Comme pour l'ozonation les résultats sont encourageants avec un abattement moyen de 82% sur les 46 substances mesurées.

D'autres types de traitement existent : nanofiltration, osmose inverse, sonolyse ou photocatalyse. Ces procédés doivent encore être améliorés et sont très onéreux.

Leur utilisation est principalement destinée à la production d'eau potable. D'autres techniques sont également en cours de développement dans les laboratoires de recherche qui étudient le potentiel de piégeage par les argiles (projet HARPE)⁽¹⁶⁾ ou encore les propriétés des plasmas non thermiques (projet TREMEMAP)⁽¹⁷⁾.

Zones humides artificielles et phytoépuration

Les zones humides artificielles constituent une solution inspirée de la nature pour éliminer les polluants émergents des eaux usées domestiques et compléter ainsi efficacement les systèmes classiques de traitement des eaux usées. L'efficacité des zones humides aménagées pour éliminer divers produits pharmaceutiques a été démontrée sur des effluents hospitaliers en Ukraine (Vystavna *et al.*, 2017), ainsi que par d'autres études à différentes échelles. Pour certains des polluants émergents, les solutions inspirées de la nature représentent une alternative techniquement et économiquement efficace.

L'utilisation d'espèces autochtones peut de surcroît présenter un bénéfice pour la préservation de la biodiversité locale voire jouer un rôle de corridor écologique. Des zones humides artificielles implantées sur

les couloirs de migration de la faune aviaire peuvent ainsi devenir des zones d'accueil et de nidification d'espèces à fort intérêt conservatoire. C'est le cas sur la commune de Melendugno (Italie), où la zone humide artificielle installée en 2008 comptait 7 ans plus tard 73 espèces d'oiseaux installées, dont 18% d'espèces incluses à l'annexe I de la directive 2009/147 / CE sur la conservation des oiseaux sauvages, soulignant la valeur écologique du site (Semeraro *et al.*, 2015). Ces espaces naturels réimplantés à proximité des centres urbanisés (là où le besoin de gestion des eaux usées est important) offrent également nombre de services écosystémiques culturels (récréationnels et éducatifs) (Ghermandi et Fichtman, 2015).

Réduction des rejets à la source

S'il est pertinent de coupler l'utilisation de la phytoépuration à des systèmes classiques de traitement (en raison des inconvénients techniques ou économiques), une stratégie de réduction à la source des rejets est également nécessaire.

Dispositif Cyclamed pour la collecte des médicaments non utilisés

C'est dans cette optique que l'Ordre des Pharmaciens et l'industrie pharmaceutique ont créé en 1993 Cyclamed, un organisme de collecte des médicaments non utilisés (MNU) et de recyclage, en s'appuyant sur la chaîne de distribution pharmaceutique en France. À l'origine, l'objectif était à la fois de récupérer les médicaments encore utilisables pour des associations humanitaires et de prendre en charge la destruction par incinération de ceux qui n'étaient pas réutilisables. Mais les résultats ne sont pas ceux escomptés, le taux de collecte en 2003, 10 ans après le lancement du dispositif, ne représentant que 11,6% des emballages soit six fois moins que les 75% visés (Jançon *et al.*, 2008). Il faudra attendre différentes réformes et réorganisation de la collecte (tous les MNU sont incinérés depuis 2009)

(16) <http://www.poledream.org/tous-les-projets/roles-des-interactions-organominerales-dans-ladsorption-des-polluants-organiques-emergents/>

(17) <https://trememap.wordpress.com/>

(15) Potentiellement en raison de son coût important



Les roseaux, particulièrement efficaces pour la phytoépuration © pionane de Pixabay

et l'inscription du dispositif au plan national sur les résidus médicamenteux dans les eaux (2011-2015) pour voir la collecte s'améliorer avec plus de 14 000 tonnes de MNU collectés et éliminés en 2013. Dans son rapport annuel 2018, Cyclamed affiche un taux de performance de la collecte estimé à 62% avec 10 827⁽¹⁸⁾ tonnes de MNU collectées.

Pour maintenir le dispositif, Cyclamed a lancé en 2018 une nouvelle campagne de communication « Tous tri-athlètes, tous athlètes du tri » pour sensibiliser au retour des médicaments non utilisés (sans leurs emballages ni notice qui eux doivent être recyclés classiquement).

Label environnemental du médicament

Depuis 2006, l'Agence Européenne du Médicament (EMA) exige une évaluation des dangers et risques environnementaux dans le cadre du dossier de demande d'autorisation de mise sur le marché des médicaments. Il est important de différencier le danger du risque. Le danger est la caractéristique intrinsèque du produit et ne prend pas en compte son utilisation, au contraire du risque qui lui intègre l'exposition au produit :

Risque = danger x exposition

Ni les médecins ni le grand public n'ont cependant accès à cette information. Pour sensibiliser professionnels de santé et consommateurs, l'EMA recommande désormais de faire figurer une indication des risques potentiels pour l'environnement sur les notices de médicaments via un système de certification indiquant le degré d'impact potentiel des produits pharmaceutiques sur l'environnement. La Suède a par exemple mis en place un plan global de prévention et de sensibilisation qui soumet chaque molécule-mère à une classification du danger d'écotoxicité, notée sur une échelle de 0 à 9 appelée l'indice PBT qui exprime les caractéristiques intrinsèques dommageables pour l'environnement de la substance dans les termes suivants :

→ **Persistance** : possibilité de résister à la dégradation dans le milieu aquatique

→ **Bioaccumulation** : accumulation dans les organismes aquatiques

→ **Toxicité** : empoisonnement potentiel de l'organisme aquatique.

Un classement de la performance environnementale des 1000 produits pharmaceutiques commercialisés en Suède a été publié en 2012⁽¹⁹⁾ par le Stockholm läns landsting, un organisme de santé publique suédois. En France, le Comité du développement durable en santé réfléchit à intégrer l'indice PBT dans les prescriptions, pour qu'il devienne un élément d'arbitrage dans le choix du consommateur.

Green pharmacy

La réduction des rejets dans l'environnement est un levier incontournable pour limiter l'impact des médicaments sur la biodiversité, mais non suffisant. Depuis une dizaine d'années, une nouvelle branche de la chimie se développe : la chimie verte, et avec elle la pharmacie verte. L'objectif est de développer des molécules en réduisant, voire éliminant l'utilisation ou la création de substances dangereuses tout au long du cycle de vie de la molécule, dans une logique de réduction des risques environnementaux. Par exemple, des substances aux actions très spécifiques qui sont plus biodégradables et métabolisées en sous-produits inactifs auront un impact environnemental limité : elles n'auront aucun effet sur les organismes non-cibles, seront excrétées sous forme de résidus non actifs et auront une persistance dans l'environnement réduite. En 2015, Rastogi *et al.* démontrent que de petits changements moléculaires dans la molécule de propranolol, un médicament à l'origine très peu biodégradable, permettent d'incorporer un attribut supplémentaire tel que la biodégradabilité tout en conservant intacte l'activité pharmacologique de la molécule. Si la pratique de la pharmacie verte n'est pas encore en plein essor dans l'industrie du médicament, les fabricants commencent à changer de paradigme en pensant des molécules « bénignes par conception ».

Conclusion

Que ce soit au niveau réglementaire ou technique, des solutions sont développées pour maîtriser les risques que pose l'utilisation des médicaments sur l'environnement. Les résultats de ces actions restent pourtant discrets, et les scientifiques recommandent de renforcer les actions et le développement des méthodes de suivi des molécules *in situ*. En France, les laboratoires de recherche en écotoxicologie développent différents outils utilisables pour la surveillance des milieux aquatiques continentaux et de transition, en complément des méthodes normalisées et réglementaires, classiquement mises en œuvre dans ce contexte. C'est notamment le cas des biomarqueurs qui, en fournissant des informations sur l'état de santé des organismes, permettent de faire le lien entre la contamination des milieux et les perturbations populationnelles. Une recherche en plein essor qui vient alimenter les réflexions des décideurs quant à l'évolution réglementaire de la Directive Cadre sur l'Eau⁽²⁰⁾.

La problématique des résidus médicamenteux dans les écosystèmes requiert une réflexion sur l'écoconception et le recyclage des médicaments, afin de réduire leurs impacts sur la biodiversité. Toutefois les médicaments, par essence, contiendront toujours des principes actifs susceptibles d'engendrer des impacts sur les milieux et les espèces. Le dispositif de recyclage, à l'instar d'autres flux tel que le plastique, ne peut constituer une solution en soi : une réflexion à la source doit être développée. Il convient alors de s'interroger sur la (sur)consommation de médicaments, en particulier dans les pays occidentaux. Au regard des impacts soulignés ici, les choix individuels et collectifs de nos sociétés sont plus que jamais cruciaux. Il s'agit désormais d'aller vers une consommation raisonnable et raisonnée des médicaments, favorable à une société plus sobre et saine. ■

(20) C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet B&B (Biomarqueurs & Biodiversité) piloté par la Fondation Rovaltain et financé par l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB), dont l'objectif est de promouvoir l'utilisation des biomarqueurs pour la surveillance des milieux aquatiques en s'appuyant sur l'expertise française dans ce domaine.

(18) La diminution de la collecte s'explique par la diminution de la consommation de médicaments à l'échelle nationale (-1% par an depuis 2006).

(19) Environmentally classified pharmaceuticals guide : <http://politiquesdesante.fr/wp-content/uploads/2014/05/PBT-2014-2015-copie.pdf>

INTERNATIONAL

SANTÉ ET BIODIVERSITÉ DANS LES PAYS DU SUD : L'APPROCHE PAR LES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Bien que cette publication traite majoritairement de la santé dans les pays du Nord, les pays du Sud font également face à des problématiques sanitaires considérables qu'il convient d'étudier. Les principaux enjeux des pays du Sud sont ici présentés au regard des interrelations entre la biodiversité et la santé. Toutefois, il est essentiel de garder en mémoire la nécessité d'une réflexion croisée avec d'autres éléments fondamentaux pour la santé humaine : paix, abri, éducation, revenu, équité et justice sociale.

À cet égard, les Objectifs du développement durable (ODD) permettent de s'interroger sur les interrelations entre plusieurs objectifs mondiaux (lutte contre la pauvreté, préservation de la santé, protection des écosystèmes, *etc.*). L'Évaluation mondiale de l'IPBES (Díaz *et al.*, 2019) confirme l'importance d'une approche intégrée et indivisible des ODD, et du rôle fondamental de la biodiversité pour les atteindre en 2030. La dynamique d'effondrement de la biodiversité entrave la réalisation de progrès dans 80% des cibles d'action liées à la pauvreté, à la faim, à la santé, à l'eau, à la ville, au climat et aux océans (Díaz *et al.*, 2019).

La préservation et la restauration de la biodiversité sembleraient pouvoir répondre à de multiples autres enjeux sociétaux présents dans les ODD. Alors que le développement humain entraîne dans la majorité des cas des impacts significatifs sur la biodiversité, il devrait au contraire être réalisé en harmonie avec celle-ci.

ODD 1 – Pas de pauvreté

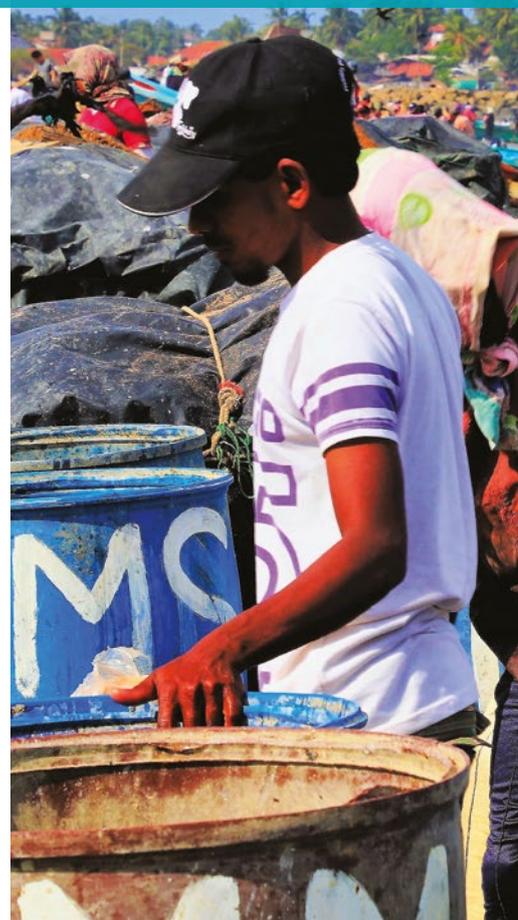
Partout dans le monde, la pauvreté est fortement corrélée à un état de santé dégradé : plus un individu est pauvre, plus il aura des difficultés à atteindre un niveau de santé convenable (Wagstaff, 2002). Les

processus sous-jacents sont nombreux : malnutrition, inégalité d'accès aux soins, stress chronique, risques accrus face aux menaces extérieures, *etc.*

Une littérature de plus en plus robuste soutient le rôle de la nature dans la lutte contre la pauvreté et la réduction de la vulnérabilité des populations (Suich *et al.*, 2015 ; Schreckenberg *et al.*, 2018). Les relations entre santé et pauvreté sont toutefois complexes étant donné les multiples dimensions de la pauvreté, bien au-delà de l'enjeu d'un revenu décent : hygiène, éducation, relations sociales, violence, logement, habillement, *etc.*

La nature contribue directement aux revenus et à la subsistance des populations les plus pauvres, à travers la consommation directe de produits et les revenus engendrés par les échanges de biens (*e.g.* la nourriture) (IPBES, 2019). Les produits issus de la nature et les biens non-marchands représentent ainsi entre 47 et 89% des sources de subsistance des foyers les plus pauvres (TEEB, 2010).

Une des problématiques majeures est liée à l'équité dans l'accès et l'utilisation de la nature (ainsi que des bénéfices générés), essentielle pour l'atteinte des objectifs environnementaux et de lutte contre la pauvreté (McDermott *et al.*, 2013). Si l'accès aux terres et aux ressources est primordial pour réduire la vulnérabilité des populations et prévenir l'augmentation de la pauvreté (production agricole, vente des produits cultivés), on observe aujourd'hui une inégalité dans leur distribution dans les pays du Sud (Clover et Eriksen, 2009). Par exemple, l'expansion des cultures d'huile de palme en Indonésie a entraîné un accaparement des terres responsable d'une détérioration de la sécurité



alimentaire, d'une perte de savoir-faire locaux et d'une diminution des revenus pour certaines communautés locales.

Enfin, les risques de catastrophe naturelle sont majoritairement concentrés dans les pays du Sud (UN, 2003) et sont une problématique importante pour les populations les plus pauvres. L'IPBES (2019) met en avant la nécessité de protéger et restaurer les écosystèmes en mesure de réduire à la fois les impacts des catastrophes naturelles et la vulnérabilité des populations à celles-ci.

ODD 2 – Faim « zéro »

Dans le cadre des ODD, l'objectif est ambitieux : il s'agit de « *mettre fin à toutes les formes de malnutrition d'ici à 2030* ».



L'objectif est alors d'accroître la production alimentaire et de réduire la malnutrition, tout en développant des activités agricoles soutenables et compatibles avec la biodiversité présente sur ces terres (IPBES, 2019).

Aujourd'hui, plus d'un tiers des terres arables sont dégradées (MEA, 2005). Ce chiffre ne fait qu'augmenter avec les 12 millions d'hectares de terres perdus chaque année, particulièrement en Asie et en Afrique (Gibbs et Salmon, 2015). L'agriculture intensive et le surpâturage ont entraîné une dégradation des sols substantielle mettant en péril la soutenabilité du mode de production alimentaire (Pimentel et Burgess, 2013). Selon des travaux portés par la FAO

(2017), 815 millions de personnes souffrent toujours de la sous-nutrition, principalement dans les pays du Sud.

Le changement climatique est une menace de premier rang pour la production agricole. Il a ainsi été estimé que pour chaque décennie jusqu'en 2050, la production alimentaire diminuera en moyenne de 1 point de pourcentage sur l'ensemble de la planète (Porter *et al.*, 2014) et de 8 points de pourcentage en Afrique et en Asie (Knox *et al.*, 2012 ; Schlenker et Lobell, 2010). Les systèmes agricoles des pays du Sud sont vulnérables à l'élévation des températures et aux événements extrêmes.

Les systèmes agricoles traditionnelles, basés sur la diversification des semences et la gestion intégrée des sols et de l'eau, peuvent être en mesure d'assurer une sécurité alimentaire tout en étant permettant une résilience accrue des sols et des territoires (Altieri et Nicholls, 2017 ; Bjornlund et Bjornlund, 2010). La réussite de cette transition dépend de nombreux facteurs tels que l'allocation équitable des terres, les financements locaux, la lutte contre la corruption et une gouvernance adéquate (Ferrol-Schulte *et al.*, 2013).

La thématique de l'alimentation est cependant à mettre en perspective avec d'autres problématiques de malnutrition (Babatunde *et al.*, 2011 ; Anticona et Sebastian, 2014). Les pays du Sud sont sujets au « double fardeau » de la malnutrition, lié à la fois à la sous-nutrition (précédemment évoquée) et à la malnutrition (obésité et maladies chroniques associées) (FAO *et al.*, 2017).

Pour les populations les plus pauvres, les ressources alimentaires sauvages constituent une source non négligeable de nutriments (Arnold *et al.*, 2011). Les politiques qui visent à renforcer les zones protégées tout en y permettant l'accès régulé des populations locales peuvent ainsi permettre une meilleure gestion des flux de ressources alimentaires sauvages.

ODD 3 – Bonne santé et bien-être

Dans les pays du Sud, les zoonoses sont à l'origine des plus grandes crises de santé publique du XXI^e siècle. En Afrique de l'Ouest, Ebola a causé 11 310 morts confirmées entre 2014 et 2015 (OMS, 2015), tandis que H1N1 a été responsable de 284 500 décès (Dawood *et al.*, 2012).

Couplés aux risques socio-économiques accrus des pays du Sud, les risques environnementaux jouent un rôle prépondérant dans le développement et la prolifération de plus de 80% des maladies infectieuses (OMS, 2007). Par exemple, 42% des cas de paludisme recensés sont imputables aux impacts environnementaux des politiques publiques et du changement

→ d'usage des sols (agriculture, déboisement, gestion des ressources en eau, choix en termes d'aménagements du territoire, *etc.*). Pour répondre à ces enjeux, une approche systémique permettrait de prendre à la fois en compte les améliorations de l'hygiène, du système d'assainissement et de l'accès à l'eau potable, mais aussi de diminuer les pollutions générées par certaines pratiques agricoles (Myers *et al.*, 2013).

En addition aux maladies infectieuses, les pays du Sud doivent également faire face à l'augmentation du nombre de maladies chroniques, créant ce qu'on appelle un « double fardeau » (Boutayeb, 2006) dans des pays où les structures de santé demeurent peu développées et coûteuses. La préservation de l'environnement et de la biodiversité, ainsi que l'aménagement durable du territoire et des villes, sont nécessaires pour prévenir l'apparition de maladies chroniques (Temu *et al.*, 2014).

L'accès universel aux médicaments ainsi que le renforcement de la recherche pour la mise au point de médicaments sont prônés dans l'ODD 3 « Santé et bien-être ». Pour de nombreux pays africains, asiatiques ou latino-américains, la médecine traditionnelle demeure une réponse aux problématiques de santé (Dudley et Stolton, 2010). De plus, l'accès limité aux autres systèmes de santé fait de la médecine traditionnelle une option importante voire incontournable dans certaines communautés (Paniagua-Zambrana *et al.*, 2015). Par exemple, dans certains pays tels que l'Inde ou la Chine, jusqu'à 90% des plantes médicinales sont sauvages (Alves et Rosa, 2007). Or la dynamique d'effondrement de la biodiversité remet en cause l'accès aux principes actifs des plantes, nécessaires à la préparation de médicaments et de solutions thérapeutiques. Il s'agit alors de protéger la biodiversité et les savoirs locaux pour permettre l'accès à ce système de santé essentiel pour les populations.

ODD 6 – Eau propre et assainissement

Aujourd'hui, la surexploitation des ressources en eau et la détérioration de la qualité de l'eau impactent de manière importante la capacité des écosystèmes aquatiques à réguler le débit d'eau, à purifier l'eau et à prévenir l'érosion.

Ainsi, 80% de la population mondiale est exposée à des risques importants de manque d'eau, principalement dans les pays du Sud. L'UNICEF (2017) estime à 2,1 milliards le nombre d'individus privés d'un accès direct à l'eau potable. De nombreux travaux montrent que les populations indigènes ont systématiquement un accès moindre à la fourniture d'eau que les autres segments de la population (McGinnis et Davis, 2001) et sont donc exposées à davantage de maladies infectieuses (Stigler-Granados *et al.*, 2014). Combinées aux enjeux d'hygiène et d'assainissement, les problématiques d'eau causent annuellement 1,7 million de morts au niveau mondial (Myers et Patz, 2009). En raison d'une absence de fourniture d'eau centralisée, les populations rurales des pays du Sud dépendent directement des éléments de nature (rivières, lacs et étangs) pour la fourniture d'une eau en quantité et qualité suffisante. Si l'agriculture est responsable de l'utilisation de 70% de l'eau au niveau mondial, ce chiffre s'élève à 90% dans les pays les moins avancés (WWAP, 2016). De plus, la consommation d'eau par l'agriculture devrait augmenter de 20 points de pourcentage au niveau global jusqu'en 2050 (WWAP, 2012). Des solutions peuvent être trouvées dans l'utilisation raisonnée de l'eau pour l'élevage, les rotations de cultures et la promotion de la biodiversité locale associée (Kelly et Goulden, 2008).

Dans les pays du Sud, les problématiques liées à la pollution de l'eau sont aussi exacerbées. Si les pays du Nord traitent en moyenne 70% de leurs eaux usées, ce pourcentage diminue à 8% dans les pays du Sud (Sato *et al.*, 2013). Cette

pollution de l'eau entraîne la prolifération de certaines algues et maladies, pouvant avoir des impacts importants pour les populations en termes économiques, notamment pour la pêche en eaux intérieures. L'IPBES (2019) préconise ainsi l'utilisation de Solutions fondées sur la Nature (à l'instar de végétation rivulaire) pour la fourniture d'une eau de qualité et la réduction des eaux usées non-traitées, ainsi que la restauration de zones humides, de nappes aquifères et de la santé des sols (Brauman, 2015). Pour permettre une meilleure efficacité de la restauration de zones humides dans les pays du Sud, une attention particulière devrait aussi être portée sur l'efficacité de la gestion et les connexions entre elles (Juffe-Bignoli *et al.*, 2016).

Conclusion

Au cours des dernières décennies, de nombreux progrès sanitaires ont été observés au niveau international. Il est cependant nécessaire de souligner le maintien d'un décalage important entre les pays du Nord et les pays du Sud, où la mortalité reste très élevée. Si l'espérance de vie à la naissance⁽¹⁾ augmente à travers le monde, elle n'atteint que 60,2 ans pour l'Afrique, tandis qu'elle s'élève à 79,2 ans pour l'Amérique du Nord (Nations Unies, 2018).

Il est ainsi nécessaire de développer conjointement des actions collectives et individuelles, et de déployer des outils politiques et économiques incitatifs en faveur d'une véritable transformation durable des sociétés. L'engagement international, le soutien aux actions des communautés locales et la gouvernance inclusive sont autant de solutions pour atteindre à la fois les objectifs liés à la préservation de la santé et de la biodiversité, mais aussi plus largement les ODD. ■

(1) Pour les personnes nées entre 2010 et 2015

INITIATIVES

LE JARDIN DE SOIN ET DE SANTÉ DU DOMAINE DE CHAUMONT-SUR-LOIRE

Le Domaine de Chaumont-sur-Loire, qui met aujourd'hui en place des activités éducatives dans les domaines du patrimoine, de l'art et des jardins, fait office de référence en termes de jardins thérapeutiques et d'initiatives médicales. Ces jardins de soin et de santé s'appuient sur le rapport biophilique (c'est-à-dire l'affinité innée de l'homme pour les processus du vivant) pour proposer à différents publics fragilisés (handicapés, malades, personnes isolées) des espaces adaptés où les personnes pourront se ressourcer et aller vers un mieux-être. Ils sont également des lieux où les personnes atteintes de pathologies variées bénéficient de traitements et de soins précis définis avec le corps médical. C'est lorsque ces conditions sont respectées que le jardin joue le rôle de « médiateur thérapeutique » ou de « tiers soignant ».

Le centre de formation du Domaine de Chaumont-sur-Loire propose un cursus de formations sur la thématique du jardin de soin et de santé. Depuis mai 2018, les étudiants peuvent également profiter d'un jardin de soin pédagogique, situé à proximité du potager du Domaine, pour pratiquer les concepts théoriques étudiés pendant les formations.

Avec plus de 600 stagiaires venant d'horizons très divers, formés depuis 2012 sur site, et plus de 30 jardins de soins créés par l'intermédiaire du Domaine de Chaumont-sur-Loire, les soignants attestent des vertus indéniables du jardin et du jardinage sur l'équilibre physique et mental des patients ou des résidents : meilleure récupération et meilleur



rendement cardiaque, augmentation de la densité osseuse, amélioration de la santé mentale et baisse des scores de dépression chez les personnes, etc.

Le Domaine de Chaumont-sur-Loire cherche ainsi à développer les jardins thérapeutiques et de parcours de santé (privilégiant le végétal) sur l'espace public. ■

Plus d'informations : domaine-chaumont.fr

QUELLES SOLUTIONS POUR ÉVITER LA PROPAGATION DE L'ANTIBIORÉSISTANCE DANS L'ENVIRONNEMENT ?

La Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB) a conduit une revue systématique de la littérature scientifique sur l'évaluation des connaissances actuelles et les effets de différentes stratégies sur la réduction de l'antibiorésistance.

Les stratégies ont été étudiées à travers 3 prismes : la réduction de l'usage des antibiotiques ; les traitements des eaux usées et des déchets organiques ; la gestion des milieux naturels.

L'étude montre l'efficacité des actions de compostage et de séchage pour réduire l'abondance relative des gènes de 84% et 98% respectivement. Si la digestion anaérobie n'a pas un effet significatif sur les proportions de bactéries antibiorésistances, les traitements

thermophiles (supérieurs à 50°C) favorisent quant à eux la réduction de l'abondance relative des gènes.

Il est ainsi recommandé de développer le compostage et la digestion anaérobie thermophile, même si des besoins de recherche ont aussi été identifiés. ■

Plus d'informations : fondationbiodiversite.fr

BIBLIOGRAPHIE

Acevedo-Whitehouse, K., Gulland, F., Greig, D., Amos, W. (2003). Inbreeding: disease susceptibility in California sea lions. *Nature*, 422(6927), 35p.

ADEME (2017). Aménager avec la nature en ville, des idées préconçues à la caractérisation des effets environnementaux, sanitaires et économiques, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 104p.

Adron, E.R., Aucott, J., Lemke, K.W., Weiner, J.P. (2015). Health care costs, utilization and patterns of care following Lyme disease. *PLoS one*, 10, 2.

Agence de l'Eau Rhône, Méditerranée et Corse (2005). Épuration des eaux usées domestiques par filtres plantes de macrophytes, recommandations techniques pour la conception et la réalisation, version 1, groupe «Macrophytes et traitement des eaux», 45p.

Alexandri, E., Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), pp.480-493.

Altieri, M.A., Nicholls, C.I. (2017). The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140(1), pp.33-45.

Alves, R.R.N., Rosa, I.M.L. (2007). Biodiversity, traditional medicine and public health: where do they meet? *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 3, p14.

Anderson, P.M., Butcher, K.F. (2006). Childhood obesity: trends and potential causes. *The Future of children*, 16(1), pp.19-45.

Anticona, C., San Sebastian, M. (2014). Anemia and malnutrition in indigenous children and adolescents of the Peruvian Amazon in a context of lead exposure: a cross-sectional study. *Global health action*, 7(1), 9p.

Armand, M. (2013). Microbiote & santé, un nouvel organe: notre microbiote, *54ème Journées Nationales de Diététique et Nutrition*, pp.87-103.

Arnold, M., Powell, B., Shanley, P., Sunderland, T.C.H. (2011). Editorial: Forests, biodiversity and food security. *International Forestry Review*, 13(3), pp.259-264.

Asam, C., Hofer, H., Wolf, M., Aglas, L., Wallner, M. (2015). Tree pollen allergens — an update from a molecular perspective. *Allergy*, 70(10), pp.1201-1211.

aus der Beek, T., Weber, F.A., Bergmann, A., Grütner, G., Carius, A. (2015). Pharmaceuticals in the Environment: Global Occurrence and Potential Cooperative Action Under the Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM). *Umweltbundesamt*, pp.823-835.

Babatunde, R.O., Olagunju, F.I., Fakayode, S.B., Sola-Ojo, F.E. (2011). Prevalence and determinants of malnutrition among under-five children of farming households in Kwara State, Nigeria. *Journal of Agricultural Science*, 3(3), p.173

Bahuchet, S., Aubaile, F., Ávila Palafox, R. (2012). Contribution de la biodiversité à l'alimentation. *Revue d'ethnoécologie*, (2), 11p.

Balabanova, D., Mills, A., Conteh, L., Akkaziya, B., Banteyerga, H., Dash, U., Gibson, L., Harmer, A., Ibrahimova, A., Islam, Z., Kidanu, A., Koehlmoss, T.P., Limwattananon, S., Muraleedharan, V.R., Murzalieva, G., Palafox, B., Panichkriangkrai, M.P.H., Patcharanarumol, W., McKee, M. (2013). Good Health at Low Cost 25 years on: lessons for the future of health systems strengthening. *The Lancet*, 381(9883), pp.2118-2133.

Balandrin, M.F., Kinghorn, A.D., Farnsworth, N.R. (1993). Human Medicinal Agents from Plants. *American Chemical Society Symposium Series*, 534, pp.2-12.

Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), pp.1325-1332.

Baudry, J., Assmann, K. E., Touvier, M., Allès, B., Seconda, L., Latino-Martel, P., Ezzedine, K., Galan, P., Hercberg, S., Lairon, D., Kesse-Guyot, E. (2018). Association of frequency of organic food consumption with cancer risk: findings from the NutriNet-Santé prospective cohort study. *JAMA internal medicine*, 178(12), pp.1597-1606.

Beinart, W., Middleton, K. (2004). Plant transfer in historical perspective: A review article. *Environ Hist*, 10, pp.3-29.

Bellows, A.C., Hamm, M.W. (2001). Local autonomy and sustainable development: Testing import substitution in more localized food systems. *Agriculture and Human Values*, 18(3), pp.271-284.

Berge, D., Jacob, C., Mouchotte, S., Pop A., Rivasseau-Jonveaux, T. (2014). Un jardin comme outil de soins en unité cognitivo-comportementale. *Soins gérontologie*, 108, pp.38-40.

Berman, M.G., Jonides, J., Kaplan, S. (2008). The cognitive benefits of interacting with nature. *Psychological science*, 19(12), pp.1207-1212.

Berto, P., D'Ilario, D., Ruffo, P., Di Virgilio, R., Rizzo, F. (2000). Depression: Cost-of-illness studies in the international literature: A review. *The Journal of Mental Health Policy and Economics*, 3, pp.3-10.

Bird, W. (2004). Can green space and biodiversity increase levels of physical activity. A report for the Royal Society for the protection of birds. Faculty of Public Health of the Royal Colleges of Physicians of the United Kingdom. London.

Bjornlund, V., and Bjornlund, H. (2010). Sustainable irrigation: A historical perspective. Edited by H. Bjornlund. *Incentives and Instruments for Sustainable Irrigation*, 12p.

Bloom, B.S., Englehart, M.D., Furst, E.J., Hill, W.H., Krathwohl, D.R. (1956). Taxonomy of educational objectives: Handbook I. *Cognitive domain*. New York: David McKay, 216p.

Bodeker, G., Burford, G. (2007). Traditional, Complementary and Alternative Medicine: Policy and Public Health Perspectives. *Imperial College Press*, London, pp.77-78.

Bolan, N. S., Park, J. H., Robinson, B., Naidu, R., & Huh, K. Y. (2011). Phytostabilization: a green approach to contaminant containment. *Advances in agronomy*, 112, pp.145-204.

Boutayeb, A. (2006). The double burden of communicable and non-communicable diseases in developing countries. *Transactions of the Royal society of Tropical Medicine and Hygiene*, 100(3), pp.191-199.

Brambilla, G., Gallo, V., Zambon, G. (2013). The soundscape quality in some urban parks in Milan, Italy. *International journal of environmental research and public health*, 10(6), pp.2348-2369.

Bratman, G.N., Hamilton, J.P., Hahn, K.S., Daily, G.C., Gross, J.J. (2015). Nature experience reduces rumination and subgenual prefrontal cortex activation. *Proceedings of the national academy of sciences*, 112(28), pp.8567-8572.

Brauman, K.A. (2015). Hydrologic ecosystem services: linking ecohydrologic processes to human well-being in water research and watershed management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), pp.345-358.

Bringslimark, T., Hartig, T., Patil, G.G. (2007). Psychological benefits of indoor plants in workplaces: Putting experimental results into context. *HortScience*, 42(3), pp.581-587.

Diaz, S., Settele, J., Brondizio, E., Ngo, H., Gueze, M., Agard, J., Arneeth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., Chan, K., Garibaldi, L., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G., Miloslavich, P., Molnar, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razaque, J., Reyers, B., Crowdhury, R.R., Shin, Y.J., Visseren-Hamakers, I., Willis, K. et Cynthia Zayas, C. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services - advance unedited version - The Intergovernmental Science - Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). 39p.

Bukar, B.B., Dayom, D.W., Uguru, M.O. (2016). The growing economic importance of medicinal plants and the need for developing countries to harness from it: A Mini Review. *IOSR J Phar*, 6(5), pp.42-52.

Burki, T.K. (2017). The global cost of tuberculosis. *The Lancet*, 6-1, 13p.

Burlingame, B., Charrondiere, R., Mouille, B. (2009). Food composition is fundamental to the cross-cutting initiative on biodiversity for food and nutrition. *Journal of food composition and analysis*, 22(5), pp.361-365.

Cepaldi, C.A., Passmore, H.A., Nisbet, E.K., Zelenski, J.M., Dopko, R.L. (2015). Flourishing in nature: A review of the benefits of connecting with nature and its application as a wellbeing intervention. *International Journal of Wellbeing*, 5(4), pp.1-16.

Caspi, A., Harrington, H., Moffitt, T.E., Milne, B.J., Poulton, R. (2006). Socially isolated children 20 years later: risk of cardiovascular disease. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 160(8), pp.805-811.

CBD (2012). Collaborative and mainstreaming activities with the health sector: progress report, Conference of the parties to the convention on biological diversity, eleventh meeting, Hyderabad, India, 9p.

CDC Biodiversité (2018). Transition écologique de l'agriculture et biodiversité, Mission Économie de la Biodiversité, BIODIV'2050 n°15, 32p.

CDC Biodiversité (2019). Évaluation socioéconomique des Solutions fondées sur la Nature, Mission Économie de la Biodiversité et Vertigo Lab, Paris, France, 40p.

CGDD (2018). Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2017, *Datalab*, Service de la donnée et des études statistiques, 36p.

CGDD, I4CE (2018). Chiffres clés du climat France, Europe et monde, *Datalab*, 80p.

CGEDD (2011). Coût des principales pollutions agricoles de l'eau, Études & Documents n°52, Conseil général de l'environnement et du développement durable, 34p.

CGEDD (2013). Les liens entre santé et biodiversité, Rapport du Conseil général de l'Environnement et du Développement durable, ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, p58p.

Chevalier, N., Fenichel, P. (2016). Obésité, diabète de type 2 et perturbateurs endocriniens. *La Presse Médicale*, 45(1), pp.88-97.

Chivian, E., Bernstein, A. (Eds.). (2008). *Sustaining Life: How Human Health Depends on Biodiversity*. New York: Oxford University Press, 542p.

Chong-Nguyen, C., Duboc, H., Sokol, H. (2017). Le microbiote, un nouveau facteur de risque cardiovasculaire?. *La Presse Médicale*, 46(7-8), pp.708-713.

Cicciolla, A. (2018). Santé environnementale et maladies chroniques, le coût de l'inaction. *L'Économie politique*, (4), pp.17-29.

Clover, J., Eriksen, S. (2009). The effects of land tenure change on sustainability: human security and environmental change in southern African savannas. *Environmental Science & Policy*, 12, pp.53-70.

CNAM (2018). Améliorer la qualité du système de santé et maîtriser les dépenses, propositions de l'Assurance Maladie pour 2019, rapport au ministre chargé de la Sécurité sociale et au parlement sur l'évolution des charges et des produits de l'Assurance Maladie au titre de 2019 (loi du 13 août 2004, Caisse nationale d'Assurance maladie, 253p.

CNAM (2019). Cartographie médicalisée des dépenses de santé, poids des pathologies et traitements dans les dépenses d'Assurance Maladie et prévalences sur le territoire, Caisse nationale d'Assurance maladie, données 2017 et évolutions 2012-2017, 14p.

Coensel, B.D., Vanwetswinkel, S., Botteeldooren, D. (2011). Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(4), pp.148-153.

Coley, R.L., Sullivan, W.C., Kuo, F.E. (1997). Where does community grow? The social context created by nature in urban public housing. *Environment and behavior*, 29(4), pp.468-494.

Coluzzi, M. (1994). Malaria and the Afrotropical ecosystems: impact of man-made environmental changes. *Parassitologia*, 36(1-2), pp.223-227.

Comité Consultatif National d'Éthique (2017). Biodiversité et santé: nouvelles relations de l'humanité avec le vivant?, 33p.

Corcoran, J., Winter, M.J., Tyler, C.R. (2010). Pharmaceuticals in the aquatic environment: a critical review of the evidence for health effects in fish. *Crit. Rev. Toxicol.* 40, pp.287-304.

Cordoza, M., Ulrich, R.S., Manulik, B. J., Gardiner, S.K., Fitzpatrick, P.S., Hazen, T.M., Mirka, A., Perkins, R.S. (2018). Impact of Nurses Taking Daily Work Breaks in a Hospital Garden on Burnout. *American Journal of Critical Care*, 27(6), pp.508-512.

Corvalan, C., Hales, S., McMichael, A. J., Butler, C., McMichael, A. (2005). Ecosystems and human well-being: health synthesis. World Health Organization, 59p.

Cuny, M. A., Verrougstraete, L., Thibaudon, M., Bonhême, L., Besancenot, J. P., Cuny, D. (2015). Les effets de la végétation urbaine sur le climat, la pollution atmosphérique et la santé. *Environnement, Risques & Santé*, 14(6), pp.482-489.

Cycoń, M., Mroziak, A., Piotrowska-Seget, Z. (2019). Antibiotics in the Soil Environment-Degradation and Their Impact on Microbial Activity and Diversity. *Frontiers in microbiology*, 10, p338.

Damanian, R., Desbureaux, S., Rodella, A.S., Russ, J., Zaveri, E. (2019). Quality Unknown: The Invisible Water Crisis. Washington, DC: World Bank, 142p.

Danner, M.C., Robertson, A., Behrends, V., Reiss, J. (2019). Antibiotic pollution in surface fresh waters: Occurrence and effects. *Science of The Total Environment*, pp.793-804.

Dary, O., Hurrell, R. (2006). Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneva, Switzerland World Health Organization, Food and Agricultural Organization of the United Nations, 376p.

Daughton, C.G. (2016). Pharmaceuticals and the Environment (PIE): Evolution and Impact of the Published Literature Revealed by Bibliometric Analysis. *Science of The Total Environment*, 562, pp.391-426.

David, B. (2012). Biodiversité: microbiome et microbiote. 35ème journée du GAICRM-Groupe d'Allergologie et d'Immunologie clinique de Rhône moyen, Suze-la-Rousse, France.

Davison, K.K., Birch, L.L. (2001). Childhood overweight: a contextual model and recommendations for future research. *Obesity reviews*, 2(3), pp.159-171.

- Dawood, F.S., Iuliano, A.D., Reed, C., Meltzer, M.I., Shay, D.K., Cheng, P.Y., Bandaranayake, D., Breiman, R.F., Brooks, W.A., Buchy, P., Feikin, D.R., Fowler, K.B., Gordon, A., Hien, N.T., Horby, P., Huang, Q.S., Katz, M.A., Krishnan, A., Lal, R., Montgomery, J.M., Molbak, K., Pebody, R., Presanis, A.M., Razuri, H., Steens, A., Tinoco, Y.O., Wallinga, J., Yu, H., Bresee, J., Widdowson, M.A. (2012). Estimated global mortality associated with the first 12 months of 2009 pandemic influenza A H1N1 virus circulation: a modelling study. *The Lancet infectious diseases*, 12(9), pp.687-695.
- De Filippo, C., Cavalieri, D., Di Paola, M., Ramazzotti, M., Poullet, J. B., Massart, S., Collini, S., Pieraccini, G., Lionetti, P. (2010). Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(33), pp.14691-14696.
- De Munck, C. (2013). Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse. 119p.
- De Vries, S., Van Dillen, S.M., Groenewegen, P.P., Spreuwwenber, P. (2013). Streetscape greenery and health: stress, social cohesion and physical activity as mediators. *Social Science & Medicine*, 94, pp.26-33.
- Demeulenaere, E., Bonneuil, C. (2010). Cultiver la biodiversité. Semences et identité paysanne. Hervieu, B., Mayer, N., Müller, P., Purseigle F., Rémy, J., Les mondes agricoles en politique, de la fin des paysans au retour de la question agricole. *Presses de Sciences Po*, pp.73-92.
- Dethlefsen, L., McFall-Ngai, M., Relman, D.A. (2007). An ecological and evolutionary perspective on human-microbe mutualism and disease. *Nature*, 449(7164), pp.811-818.
- Diaz, S., Settele, J., Brondizio, E., Ngo, H., Guéze, M., Agard, J., Arneeth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., Chan, K., Garibaldi, L., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G., Milosavljevic, P., Molnar, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R.R., Shin, Y.J., Visseren-Hamakers, I., Willis, K. et Cynthia Zayas, C. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services - advance unedited version -. The Intergovernmental Science - Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). 39p.
- Ding, C., He, J. (2010). Effect of antibiotics in the environment on microbial populations. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 87, pp.925-941.
- Ding, D., Lawson, K. D., Kolbe-Alexander, T. L., Finkelstein, E. A., Katzmarzyk, P. T., Van Mechelen, W., Pratt, M. (2016). The economic burden of physical inactivity: a global analysis of major non-communicable diseases. *The Lancet*, 388(10051), p.1311-1324.
- Dobbs, R., Sowers, C., Thompson, F., Manyika, J., Woetzel, J., Child, P., McKenna, S., Spatharou, A. (2014). How the world could better fight obesity. McKinsey Global Institute. Accessible sur <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/how-the-world-could-better-fight-obesity>
- DREES (2019). Les dépenses de santé en 2018, résultats des comptes de la santé, édition 2019, Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques, Ministère des solidarités et de la santé, 158p.
- Duangjinda, M., Choprakarn, K., Suwanlee, S., Amnuysit, P., Thieme, O. (2012). Impact of the avian influenza outbreak on indigenous chicken genetic resources in Thailand. *World Poultry Science Journal*, n°68, pp.503-512
- Dudley, N., Stolton, S. (2010). Arguments for Protected Areas, Multiples benefits for conservation and use, London, 296p.
- Dunnett, N., Swanwick, C., Woolley, H. (2002). Improving urban parks, play areas and green spaces. London: Department for transport, local government and the regions, 217p.
- Ebele A.J., Abdallah M.A.E., Harrad S. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants*, 3, pp.1-16.
- EEA (2014). Noise in Europe 2014, EEA Report, n°10/2014, European Environment Agency, 68p.
- Ekor, M. (2014). The growing use of herbal medicines: Issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. *Frontiers in Pharmacology*, 4, p.177.
- El Kaoutari, A., Armougou, F., Raoult, D., Henrissat, B. (2014). Le microbiote intestinal et la digestion des polysaccharides. *médecine/sciences*, 30(3), pp.259-265.
- Etheridge, M.L., Campbell, S.A., Erdman, A.G., Haynes, C.L., Wolf, S.M., McCullough, J. (2013). The big picture on nanomedicine: the state of investigational and approved nanomedicine products. *Nanomedicine* 9(1), pp.1-14.
- EY France. (2016). Le coût social du bruit, analyse bibliographique des travaux français et européens, étude réalisée pour le compte du Conseil national du Bruit et de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 59p.
- Fabricant D.S., Farnsworth, N.R. (2001) The value of plants used in traditional medicine for drug discovery. *Environ Health Perspect* 109, pp.69-75.
- Faddegon, P.A. (2005). The kids growing food school gardening program: Agricultural literacy and other educational outcomes. *Cornell University*, 109p.
- FAO (2015). The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture, edited by B. D. Scherf & D. Pilling. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome, 606p.
- FAO (2019). La biodiversité, si cruciale pour notre alimentation et notre agriculture, disparaît de jour en jour, Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Accessible sur <http://www.fao.org/news/story/fr/item/1181464/icode/>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO (2017). The State of Food Security and Nutrition in the World 2017. Building resilience for peace and food security .Rome, FAO.
- Ferrol-Schulte, D., Wolff, M., Ferse, S., and Glaser, M. (2013). Sustainable Livelihoods Approach in tropical coastal and marine social-ecological systems. *A review. Marine Policy*, 42, pp.253-258.
- Fondation Concorde (2017). Produits phytosanitaires dans l'agriculture : l'urgence d'une approche dépassionnée et rationnelle, le cas du glyphosate, 23p.
- Forsséna, J., Hornikx, M., Van Der Aa, B., Nilsson, M., Rådsten-Ekmanc, M., Defrance, J., Jean, P., Koussa, F., Maillard, J., Van Maercke, D., Attenborough, K., Bashir, I., Taherzadeh, S., Benkreira, H., Horoshenkov, K.V., Khan, A., Kang, J., Smyrnova, Y., Botteldooren, D., De Coensel, B., Van Renterghem, T., Klaeboe, R., Mosslemi, M., Veisten, K., Männel, M., Vincent, B., Jeon, J.Y., Jang, H.S., Hong, J.Y. (2014). Toolbox from the EC FP7 HOSANNA project for the reduction of road and rail traffic noise in the outdoor environment.
- Fowler, C., Hodgkin, T. (2004). Plant genetic resources for food and agriculture: assessing global availability. *Annu Rev Environ Resour*, 29, pp.143-179.
- Friman, V.P., Guzman, L.M., Reuman, D.C., Bell, T., (2015). Bacterial adaptation to sublethal antibiotic gradients can change the ecological properties of multitrophic microbial communities. *Proc. R. Sci.*, 282, 10p.
- Gaboriau-Routhiau, V., Cerf-Bennusson, N. (2016). Microbiote intestinal et développement du système immunitaire. *médecine/sciences*, 32(11), pp.961-967.
- Ghermandi, A., Fichtman, E. (2015). Cultural ecosystem services of multifunctional constructed treatment wetlands and waste stabilization ponds: time to enter the mainstream? *Ecol. Eng.* 84, pp.615-623.
- Gibbs, H.K., Salmon, J.M. (2015). Mapping the world's degraded lands. *Applied geography*, 57, p.12-21.
- Gibson G.R., Hutkins R., Sanders M.E., Prescott S.L., Reimer R.A., Salminen S.J., Scott K., Stanton C., Swanson K.S., Cani P.D., Verbeke K., Reid G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 14(8), pp.491-502.
- Gidlöf-Gunnarsson, A., Öhrström, E. (2007). Noise and well-being in urban residential environments: The potential role of perceived availability to nearby green areas. *Landscape and urban planning*, 83(2-3), pp.115-126.
- GIEC (2018). Global warming of 1.5°C, an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, summary for policymakers, 33p.
- Gilbert, M., Virano, M.Z., Watson, R.T., Oaks, L., Benson, P.C., Khan, A.A., Ahmed, S., Chaudhry, J., Arshad, M., Mahmood, S., Ali Shah, Q. (2002). Breeding and mortality of Oriental White-backed vulture Gyps bengalensis in Punjab Province, Pakistan. *Bird Conserv. Int.* 12, pp.311-326.
- Gilden, R.C., Huffling, K., Sattler, B. (2010). Pesticides and health risks. *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing*, 39(1), pp.103-110.
- Grace, D., Mutua, F., Ochungo, P., Kruska, R., Jones, K., Brierley, L., Lapar, L., Said, M., Herero, M., Phuc, P. M. Thao, N. B., Akuku, I., Ogutu, F. (2012). Mapping of poverty and likely zoonoses hotspots. Zoonoses Project 4. Report to the UK Department for International Development. Nairobi, Kenya: ILRI, 119p.
- Green, R.E., Newton, I., Shultz, S., Cunningham, A.A., Gilbert, M., Pain, D.J., Prakash, V. (2004). Diclofenac poisoning as a cause of vulture population declines across the Indian subcontinent. *Journal of Applied Ecology*, 41, pp.793-800.
- Guyomard H. (sous la direction de) (2013). Vers des agricultures à hautes performances. Volume 1. Analyse des performances de l'agriculture biologique, INRA, 368p.
- Hamilton, A. (2003). Medicinal Plants and Conservation: Issues and Approaches. WWF UK report.
- Haut Conseil de la Santé Publique (2017). Rapport préparatoire à la Stratégie nationale de santé 2018-2020.
- Hawkey, L.C., Masi, C.M., Berry, J.D., Cacioppo, J.T. (2006). Loneliness is a unique predictor of age-related differences in systolic blood pressure. *Psychology and aging*, 21(1), pp.152-164.
- Heal, G. (2000). Valuing Ecosystem Services. *Ecosystems*, 3, pp.24-30.
- Henneron, L., Bernard, L., Hedde, M., Pelosi, C., Villenave, C., Chenu, C., Bertrand, M., Girardin, C., Blanchart, E. (2015). Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life. *Agronomy for sustainable development*, 35(1), pp.169-181.
- Holt-Lunstad, J., Smith, T.B., Layton, J.B. (2010). Social relationships and mortality risk: a meta-analytic review. *PLoS medicine*, 7, 7.
- Hunter, M.R., Gillespie, B.W., Chen, S.Y.P. (2019). Urban nature experiences reduce stress in the context of daily life based on salivary biomarkers. *Frontiers in psychology*, 10, pp.722
- INSEE (2019). Chiffres et données Agriculture, n°2019-4, Statistique Agricole Annuelle (SAA) 2017 et 2018, données provisoires, Institut nationale de la Statistique et des Études économiques.
- Inserm (2016). Microbiote intestinal (flore intestinale), une piste sérieuse pour comprendre l'origine de nombreuses maladies. Accessible sur <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/microbiote-intestinal-flore-intestinale>
- IPBES (2018). Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. M. Fischer, M. Rounsevell, A. Torre-Marín Rando, A. Mader, A. Church, M. Elbakidze, V. Elias, T. Hahn, P.A. Harrison, J. Hauck, B. Martín-López, I. Ring, C. Sandström, I. Sousa Pinto, P. Visconti, N.E. Zimmermann and M. Christie (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 48p.
- IPBES (2019). Chapter 3 of the IPBES Global Assessment on Biodiversity and Ecosystem Services: Assessing progress towards meeting major international objectives related to nature and nature's contributions to people, 355p.
- IPCC (2014). Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.709-754.
- IPCC (2018). Global warming of 1.5°C, an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, summary for policymakers, 33p.
- Jançon, G., Parvy, P., Body, C., Sibenaler, C., Aumônier, J., Bisson M. (2008). Médicaments et environnement, *Rapport de l'Académie Nationale de Pharmacie*. Paris, 105p.
- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution-Deposition and dispersion. *Atmospheric environment*, 105, pp.130-137.
- Jarvis, P. (2007). Globalization, lifelong learning and the learning society: Sociological perspectives. *Routledge*, 252p.
- Jones, L., Provins, A., Holland, M., Mills, G., Hayes, F., Emmett, B., Hall, J., Sheppard, L., Smith, R., Sutton, M., Hicks, K., Ashmore, M., Haines-Young, R., Harper-Simmonds, L. (2014). A review and application of the evidence for nitrogen impacts on ecosystem services. *Ecosystem Services*, 7, pp.76-88.
- Jones, P., Shears, P., Hillier, D., Comfort, D., Lowell, J. (2003). Return to traditional values? A case study of Slow Food. *British food journal*, 105(4/5), pp.297-304.
- Juffe-Bignoli, D., Harrison, I., Butchart, S.H.M., Flitcroft, R., Hermoso, V., Jonas, H., Lukaszewicz, A., Thieme, M., Turak, E., Bingham, H., Dalton, J., Darwall, W., Deguignet, M., Dudley, N., Gardner, R., Higgins, J., Kumar, R., Linke, S., Milton, G.R., Pittock, J., Smith, K.G., Van Soesbergen, A. (2016). Achieving Aichi Biodiversity Target 11 to improve the performance of protected areas and conserve freshwater biodiversity. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*, 26, pp.133-151.
- Kamitsis, I., Francis, A.J. (2013). Spirituality mediates the relationship between engagement with nature and psychological wellbeing. *Journal of Environmental Psychology*, 36, pp.136-143.
- Kampa, M., Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environment International*, 34, pp.362-376.
- Kanda, R., Griffin, P., James, H.A., Fothergill J. (2003). Pharmaceutical and personal care products in sewage treatment works. *J. Environ. Monitoring*, 5, pp.823-830.

- Kang, S., Phipps, M.A. (2003). Question of attitude: South Korea's Traditional Medicine Practitioners and Wildlife Conservation. *TRAFFIC East Asia*, Hong Kong, 66p.
- Kaplan, R., Kaplan, S. (1989). The experience of nature: A psychological perspective. *CUP Archive*, pp.318-333.
- Kaplan, R., Kaplan, S., Ryan, R. (1998). With people in mind: Design and management of everyday nature. *Island Press*, pp.26-29.
- Karmanov, D., Hamel, R. (2008). Assessing the restorative potential of contemporary urban environment (s): Beyond the nature versus urban dichotomy. *Landscape and Urban Planning*, 86(2), pp.115-125.
- Keesing, F., Belden, L.K., Daszak, P., Dobson, A., Harvell, C.D., Holt, R.D., Hudson, P., Jolles, A., Jones, K.E., Mitchell, C.E., Myers, S.S., Bogich, T., Ostfeld, R.S. (2010). Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*, 468(7324), pp.647-652.
- Keesing, F., Holt, R.D., Ostfeld, R.S. (2006). Effects of species diversity on disease risk. *Ecology letters*, 9(4), pp.485-498.
- Keller, F. (2012). Rapport d'information fait au nom de la délégation sénatoriale à la prospective sur les nouvelles menaces des maladies infectieuses émergentes, par Mme Fabienne Keller, Sénat, n°638, 233p.
- Kellert, S.R. (2002). Experiencing nature: Affective, cognitive, and evaluative development in children. Children and nature: *Psychological, sociocultural, and evolutionary investigations*, pp.117-151.
- Kelly, A.E., Goulden, M.L. (2008). Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(33), pp.11923-11826.
- Kidd, K.A., Blanchfield, P.J., Mills, K.H., Palace, V.P., Evans, R.E., Lazorchak, J.M., Flick, R.W., (2007). Collapse of a fish population after exposure to a synthetic oestrogen. *Natl Acad Sci*, 104, pp.8897-8901.
- Knox, J., Hess, T., Daccache, A., Wheeler, T. (2012). Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environmental Research Letters*, 7, 3, 9p.
- Kuo, F.E., Sullivan, W.C. (2001). Environment and crime in the inner city: Does vegetation reduce crime?. *Environment and behavior*, 33(3), pp.343-367.
- Larsson, D.G.J., de Pedro, C., Paxeus N. (2007). Effluent from drug manufactures contains extremely high levels of pharmaceuticals. *J. Hazard. Mater.*, 148, pp.751-755.
- Lauby-Secretan, B., Scoccianti, C., Loomis, D., Grosse, Y., Bianchini, F., Straif, K. (2016). Body fatness and cancer—viewpoint of the IARC Working Group. *New England Journal of Medicine*, 375(8), pp.794-798.
- Le Naire, O., Dufumier, M. (2019). L'Agroécologie peut nous sauver: Entretiens. *Éditions Actes Sud*, 237p.
- Lederbogen, F., Kirsch, P., Haddad, L., Streif, F., Tost, H., Schuch, P., Wüst, S., Pruessner, J.C., Rietschel, M., Deuschle, M., Meyer-Lindenberg, A. (2011). City living and urban upbringing affect neural social stress processing in humans. *Nature*, 474(7352), pp.498-501.
- Lee, G.G., Lee, H.W., Lee, J.H. (2015). Greenhouse gas emission reduction effect in the transportation sector by urban agriculture in Seoul, Korea. *Landscape and Urban Planning*, 140, pp.1-7.
- Lee, K.E., Williams, K.J., Sargent, L.D., Williams, N.S., Johnson, K.A. (2015). 40-second green roof views sustain attention: The role of micro-breaks in attention restoration. *Journal of Environmental Psychology*, 42, pp.182-189.
- Lindemann-Matthies, P., Junge, X., Matthies, D. (2010). The influence of plant diversity on people's perception and aesthetic appreciation of grassland vegetation. *Biological Conservation*, 143(1), pp.195-202.
- Liverani, A., Brandi, F., Sirri, S., Giovannini, D., Baroni, G., Lonardi, F. (2013). Preliminary evaluation on susceptibility to natural infections of putative resistant peach breeding selections in a PPV endemic site. *In VIII International Peach Symposium* 1084, pp.585-590.
- Loh, E. H., Zambrana-Torrel, C., Olival, K. J., Bogich, T. L., Johnson, C. K., Mazet, J. A., Karesch W., Daszak, P. (2015). Targeting transmission pathways for emerging zoonotic disease surveillance and control. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 15(7), pp.432-437.
- Loutan, L., Slama, S., Getaz, L. (2008). Urbanisation, santé et voyages. *Revue Médicale Suisse*, n°164, pp.1620-1624.
- Lundberg, J.O., Weitzberg, E., Cole, J.A., Benjamin, N. (2004). Nitrate, bacteria and human health. *Nature Reviews Microbiology*, 2(7), pp.593-602.
- Maas, J., Verheij, R. A., de Vries, S., Spreuwenberg, P., Schellevis, F.G., Groenewegen, P.P. (2009). Morbidity is related to a green living environment. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 63(12), pp.967-973.
- MacKerron, G., Mourato, S. (2013). Happiness is greater in natural environments. *Global environmental change*, 23(5), pp.992-1000.
- Macpherson, A.J., Harris, N.L. (2004). Interactions between commensal intestinal bacteria and the immune system. *Nature Reviews Immunology*, 4(6), pp.478-485.
- Mark, G., Gudith, D., Klocke, U. (2008). The cost of interrupted work: more speed and stress. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.107-110.
- Markandya, A., Taylor, T., Longo, A., Murty, M.N., Murty, S., Dhavala, K. (2008). Counting the cost of vulture decline—an appraisal of the human health and other benefits of vultures in India. *Ecol. Econ.* 67, pp.194-204.
- Marques, J.G. (1997). Fauna medicinal: Recurso do ambiente ou ameaça à biodiversidade. *Mutum*, 1(1), 4p.
- McAvay, G.J., Seeman, T.E., Rodin, J. (1996). A longitudinal study of change in domain-specific self-efficacy among older adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 51(5), pp.243-253.
- McDermott, M., Mahanty, S., Schreckenberg, K. (2013). Examining equity: a multidimensional framework for assessing equity in payments for ecosystem services. *Environmental Science & Policy*, 37, pp.416-427.
- McGinnis, S., Davis, R. (2001). Domestic well water quality within tribal lands of eastern Nebraska. *Environmental Geology*, 41(3-4), pp.321-329.
- MEA (2005). Ecosystems and human well-being: synthesis, *Island Press*, Millennium Ecosystem Assessment, 155p.
- Michael, S.E., Hull, R.B. (1994). Effects of vegetation on crime in urban parks, 46p.
- Miller, T.H., Bury, N.R., Owen, S.F., MacRae, J.I., Barron, L.P. (2018). A review of the pharmaceutical exposome in aquatic fauna. *Environ. Pollut.*, 239, pp.129-146.
- Minetto, D., Volpi Ghirardini, A., Libralato, G. (2016). Saltwater ecotoxicology of Ag, Au, CuO, TiO₂, ZnO and C60 engineered nanoparticles: An overview. *Environment International*, pp.189-201.
- Mitchell, R., Maher, B. (2009). Evaluation and application of biomagnetic monitoring of traffic-derived particulate pollution. *Atmospheric Environment*, 43(13), pp.2095-2103.
- Moore, M.N. (2006). Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment? *Environment International*. 32(8), pp.967-976.
- Morakinyo, T.E., Kong, L., Lau, K.K.L., Yuan, C., Ng, E. (2017). A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort. *Building and Environment*, 115, pp.1-17.
- Morand, S. (2015). Diversity and origins of human infectious diseases. In: *Basics in Human Evolution* (M.P. Muehlenbein, ed), New York, Elsevier (sous presse), 29, pp.405-414.
- Morand, S. (2016). La Prochaine Peste. Une histoire globale des sociétés et de leurs épidémies. *Fayard*, Paris, 304p.
- Morand, S., Fiquié, M. (2016). Émergence de maladies infectieuses. Risques et enjeux de société. *Quae*, Versailles, 136p.
- Morand, S., Lajaunie, C. (2017). Biodiversity and Health. *Linking Life, Ecosystems and Societies*, Elsevier & ISTE, London, 300p.
- Morand, S., McIntyre, K.M., Baylis, M. (2014). Domesticated animals and human infectious diseases of zoonotic origins: domestication time matters. *Infection Genetics Evolution*, n° 24, pp.76-87.
- Morand, S., Owers, K., Bordes, F. (2014). Biodiversity and emerging zoonoses. In: *Confronting Emerging Zoonoses: The One Health Paradigm* (A. Yamada, L.H. Kahn, B. Kaplan, T.P. Monath, J. Woodall, L.A. Conti, eds), Tokyo, Springer, pp.27-41.
- Münzel, T., Gori, T., Babisch, W., Basner, M. (2014). Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *European heart journal*, 35(13), pp.829-836.
- Murray, K.A., Daszak, P. (2013). Human ecology in pathogenic landscapes: two hypotheses on how land use change drives viral emergence. *Current opinion in virology*, 3(1), pp79-83.
- Musy, M. (coord.) (2014). Une ville verte. Les rôles du végétal en ville. *Éd. Quae*, 200p.
- Myers, S.S., Gaffikin, L., Golden, C.D., Ostfeld, R.S., Redford, K.H., Ricketts, T.H., Turner, W.R., Osafsky, S.A. (2013). Human health impacts of ecosystem alteration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, pp.18753-18760.
- Myers, S.S., Patz, J.A. (2009). Emerging Threats to Human Health from Global Environmental Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1), pp.223-252.
- Nations Unies (2018). Observatoire des inégalités, les inégalités d'espérance de vie dans le monde se réduisent, 4p.
- Nature editorials (2015). Time to get clean, formal recognition of drug pollution will help to protect humans and ecosystems, 526, 164, 1p.
- Newman, D. J., Cragg, G. M. (2016). Natural products as sources of new drugs from 1981 to 2014. *Journal of natural products*, 79(3), pp.629-661.
- Newman, D.J., Cragg, G.M. (2012). Natural products as sources of new drugs over the 30 years from 1981 to 2010. *Journal of natural products*, 75(3), pp.311-335.
- Nieuwenhuis, M. (2017). Why plants in the office make us more productive. University of Exeter.
- O'Sullivan, O., Cronin, O., Clarke, S.F., Murphy, E.F., Molloy, M.G., Shanahan, F., Cotter, P.D. (2015). Exercise and the microbiota. *Gut microbes*, 6(2), pp.131-136.
- Oaks, J.L., Gilbert, M., Virani, M.Z., Watson, R.T., Meteyer, C.U., Rideout, B.A., Shivaprasad, H.L., Ahmed, S., Chaudry, M.J.I., Arshad, M., Mahmood, S., Ali, A., Khan, A.A. (2004). Diclofenac residues as the cause of population decline of vultures in Pakistan. *Nature*, 427, pp.630-633.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2012). *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. Paris, OECD Publishing, 8p.
- OMS (1946). *Constitution de l'Organisation Mondiale de la Santé*, New York, 20p.
- OMS (2004). *Investir dans la santé mentale*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 27p.
- OMS (2007). *Prévenir la maladie grâce à un environnement sain: une estimation de la charge de morbidité imputable à l'environnement*. Synthèse sur le sujet réalisée par plus de 100 experts du monde entier, résumé en français, 19p.
- OMS (2010). *Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé*, Organisation mondiale de la Santé, 60p.
- OMS (2013). *Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2014-2023*, 72p.
- OMS (2015). *Rapport de situation sur la flambée de maladie à virus Ebola*, 18p.
- OMS (2018a). *Malnutrition*. Accessible sur <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition#targetText=La%20malnutrition%20sous%20toutes%20ses,transmissibles%20li%C3%A9%20%C3%A0%20l'alimentation>.
- OMS (2018b). *La santé mentale: renforcer notre action*. Accessible sur <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-strengthening-our-response>
- ONERC: Février, E., Vigié, V., Hallegatte, S., Garnaud, B. (2010). *Villes et adaptation au changement climatique*, Observatoire nationale sur les effets du réchauffement climatique, 158p.
- Organización Panamericana de la Salud – OPS -, OMS (2015). *Alimentos y bebidas ultraprocesados en América Latina: tendencias, efecto sobre la obesidad e implicaciones para las políticas públicas*. Washington D.C., 76p.
- Owen, N., Humpel, N., Leslie, E., Bauman, A., Sallis, J.F. (2004). Understanding environmental influences on walking: review and research agenda. *American journal of preventive medicine*, 27(1), pp.67-76.
- Paniagua-Zambrana, N., Camara-Leret, R., Macia, M.J. (2015). Patterns of Medicinal Use of Palms Across Northwestern South America. *Botanical Review*, 81(4), pp.317-415.
- Park, B.J., Tsunetsugu, Y., Kasetani, T., Kagawa, T., Miyazaki, Y. (2010). The physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): evidence from field experiments in 24 forests across Japan. *Environmental health and preventive medicine*, 15(1), 18p.
- Pépin, J., Saheb, N., Coulombe, M. A., Alary, M. E., Corveau, M. P., Authier, S., Leblanc, M., Rivard, G., Bettez, M., Primeau, V., Nguyen, M., Jacob, C.E., Lanthier, L. (2005). Emergence of fluoroquinolones as the predominant risk factor for Clostridium difficile-associated diarrhea: a cohort study during an epidemic in Quebec. *Clinical Infectious Diseases*, 41(9), pp.1254-1260.
- Pérez-Hernández, A. I., Catalán, V., Gómez-Ambrosi, J., Rodríguez, A., Frühbeck, G. (2014). Mechanisms linking excess adiposity and carcinogenesis promotion. *Frontiers in endocrinology*, 5, p.65.
- Phillips, P.J., Smith, S.G., Kolpin, D.W., Zaugg, S.D., Buxton, H.T., Furlong, E.T., Esposito, K., Stinson, B. (2010). Pharmaceutical formulation facilities as sources of opioids and other pharmaceuticals to wastewater treatment plant effluents. *Environ Sci Technol*, 44, pp.4910-4916.
- Pikora, T., Giles-Corti, B., Bull, F., Jamrozik, K., Donovan, R. (2003). Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. *Social science & medicine*, 56(8), pp.1693-1703.
- Pimentel, D., Burgess, M. (2013). *Soil Erosion Threatens Food Production*. *Agriculture*, 3(3), pp.443-463.
- Pommier, R. (2016). *L'éprouvé au Jardin de Soins en faveur du rétablissement: une approche qualitative au Jardin des Mélisses*. Université Jean Monnet de Saint-Étienne.

- Porcher, J.M., (2009). Évaluation de l'impact des perturbateurs endocriniens sur les milieux aquatiques (SURVAQUA), Programme National de Recherche sur les Perturbateurs Endocriniens PNRPE, Rapport final.
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B., Travasso, M.I. (2014). Chapter 7: Food security and food production systems. *Cambridge University Press*, 49p.
- Preuß, M., Nieuwenhuijsen, M., Marquez, S., Cirach, M., Dadvand, P., Triguero-Mas, M., Gidlow, C., Grazuleviciene, R., Kruize, H., Zijlema, W. (2019). Low childhood nature exposure is associated with worse mental health in adulthood. *International journal of environmental research and public health*, 16(10), 18p.
- Pugh, T.A., MacKenzie, A.R., Whyatt, J.D., Hewitt, C.N. (2012). Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environ. Sci. Technol.* 46(14), pp.7692-7699.
- Quenault, B. (2013). Retour critique sur la mobilisation du concept de résilience en lien avec l'adaptation des systèmes urbains au changement climatique. *EchoGéo*, 24p.
- Rastogi, T., Leder, C., Kümmerer, K. (2015). Re-Designing of Existing Pharmaceuticals for Environmental Biodegradability: A Tiered Approach with beta-Blocker Propranolol as an Example. *Environ. Sci. Technol.* 49(19), pp.11756-11763.
- Reading, C.L., Wien, F. (2009). Health inequalities and the social determinants of Aboriginal peoples' health. Prince George, BC: *National Collaborating Centre for Aboriginal Health*, 36p.
- Rice D.P., Kelman, S., Millier, L.S. (1990). The Economic Costs of Alcohol and Drug Abuse and Mental Illness, Publication No. (ADM) 90-1694, Alcohol, Drug Abuse and Mental Health Administration, Rockville, 296p.
- Roche, B., Guegan, J.F. (2011). Ecosystem dynamics, biological diversity and emerging infectious diseases. *Comptes rendus biologies*, 334(5-6), pp.385-392.
- Rodríguez-Muñoz, F.B. (2010). Regímenes, sistema y crisis agroalimentaria. En Instituto Latinoamericano para una Sociedad y Derecho Alternativo –ILSA–. El Otro Derecho. El sistema agroalimentario: mercantilización, luchas y resistencias. 42, pp. 45-74.
- Roe, D. (2010). Linking biodiversity conservation and poverty alleviation: a state of knowledge review. *CBD Technical Series*, 73p.
- Romanelli, C., Cooper, D., Campbell-Lendrum, D., Maiero, M., Karesch, W. B., Hunter, D., Golden, C. D. (2015). Connecting global priorities: biodiversity and human health: a state of knowledge review. World Health Organization/Secretariat of the UN Convention on Biological Diversity, 364p.
- Rosique, R. M., Langella, P., Chatel, J. M. (2018). Microbiote et vieillissement, Innovations agronomiques, INRA, pp.55-66.
- Sahoo, K., Sahoo, B., Choudhury, A.K., Sofi, N.Y., Kumar, R., Bhadoria, A.S. (2015). Childhood obesity: causes and consequences. *Journal of family medicine and primary care*, 4(2), pp.187-192.
- Sanchez, W., Sremski, W., Piccini, B., Palluel, O., Maillot-Maréchal, E., Betoulle, S., Jaffal, A., Ait-Aissa, S., Thybaud, E., Brion, F., Hinfray, N., Porcher, J.M. (2011). Adverse effects in wild fish living downstream from pharmaceutical manufacture discharges. *Environ. Int.* 37, pp.1342-1348.
- Sánchez-Quiles, D., Tovar-Sánchez, A. (2014). Screens as a Source of Hydrogen Peroxide Production in Coastal Waters. *Environ. Sci. Technol.*, 48(16), pp.9037-9042.
- Sato T., Qadir M., Yamamoto S., Endo T., Zahoor A. (2013) Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, pp.1-13.
- Schlenker, W. and Lobell, D.B. (2010). Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environmental Research Letters*, 5, 1, 9p.
- Schreckenberg, K., Mace, G., Poudyal, M. (2018). Ecosystem Services and Poverty Alleviation. Trade-offs and Governance. London and New York: *Routledge*, 326p.
- Selosse, M.A. (2016). Au-delà de l'organisme, l'holobionte, 5p.
- Selye, H. (1956). The Stress of Life. New York: McGraw-Hill, 516p.
- Semeraro, T., Giannuzzi, C., Beccarisi, L., Aretano, R., De Marco, A., Pasimeni, M.R., Zurlini, G., Petrosillo, I. (2015). A constructed treatment wetland as an opportunity to enhance biodiversity and ecosystem services. *Ecol. Eng.* 82, pp.517-526.
- Shankar, A., McMunn, A., Banks, J., Steptoe, A. (2011). Loneliness, social isolation, and behavioral and biological health indicators in older adults. *Health Psychology*, 30(4), pp.377-385.
- Shultz, S., Baral, H.S., Charman, S., Cunningham, A.A., Das, D., Ghalsasi, G.R., Goudar, M.S., Green, R.E., Jones, A., Nighot, P., Pain, D.J., Prakash, V. (2004). Diclofenac poisoning is widespread in declining vulture populations across the Indian subcontinent. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 271, pp.458-460.
- Sim, W.J., Lee, J.W., Lee, E.S., Shin, S.K., Hwang, S.R., Oh, J.E. (2011). Occurrence and distribution of pharmaceuticals in wastewater from households, livestock farms, hospitals and pharmaceutical manufacturing. *Chemosphere*, 82, pp.179-186.
- Sittarame, F., Golay, A. (2013). Comportement d'inactivité physique: une réponse adaptative inappropriée au maintien de la santé dans nos sociétés?. *Revue médicale suisse*, 9(379), pp.679-83.
- Sjöström, M., Oja, P., Hagströmer, M., Smith, B. J., Bauman, A. (2006). Health-enhancing physical activity across European Union countries: the Eurobarometer study. *Journal of Public Health*, 14(5), pp.291-300.
- Smith, J. (2012). Urban air quality, Grantham: The Woodland Trust. 12p.
- Smith, P.A., Smith, R.M. (1999). Diets in transition: Hunter-gatherer to station diet and station diet to the self-select store diet. *Human Ecology*, 27(1), pp.115-133.
- Spira, J.B., Feintuch, J.B. (2005). The cost of not paying attention: How interruptions impact knowledge worker productivity. *Report from Basex*, 21p.
- Steichen, P., Antri-Bouzar, C. (2015). La gestion juridique des résidus médicamenteux en France : questionnements juridiques autour de la pollution émergente hospitalière. *Revue de droit sanitaire et social*, 5, pp.879-890.
- Stephens, T., Joubert, N. (2001). Le fardeau économique des problèmes de santé mentale. *Les maladies chroniques au Canada*, 22(1), 7p.
- Stern, N. (2006). The economics of climate change: the Stern review. *Cambridge University press*, 662p.
- Stigler-Granados, P., Quintana, P.J.E., Gersberg, R., Zúñiga, M.L., Novotny, T. (2014). Comparing Health Outcomes and Point-of-Use Water Quality in Two Rural Indigenous Communities of Baja California, Mexico before and after Receiving New Potable Water Infrastructure. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 4(4), p672.
- Still J. (2003). Use of animal products in traditional Chinese medicine: environmental impact and health hazards, *Complementary Therapies in Medicine*, Volume 11, Issue 2, pp.118-122.
- Suich, H., Howe, C., Mace, G. (2015). Ecosystem services and poverty alleviation: a review of the empirical links. *Ecosystem Services*, 12, pp.137-147.
- Tadei, W. P., Thatcher, B.D., Santos, J.M., Scarpassa, V.M., Rodrigues, I.B., Rafael, M.S. (1998). Ecologic observations on anopheline vectors of malaria in the Brazilian Amazon. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 59(2), pp.325-335.
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, 25(2), pp.99-103.
- Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D., Freer-Smith, P. (2011). Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning*, 103(2), pp.129-138.
- TEEB (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB, 39p.
- Temu, F., Leonhardt, M., Carter, J., Thiam, S. (2014). Integration of non-communicable diseases in health care: tackling the double burden of disease in African settings. *The Pan African Medical Journal*, p.18.
- Ten Brink P., Mutafoglu K., Schweitzer J-P., Kettunen M., Twigger-Ross C., Baker J., Kuipers Y., Emonts M., Tyrväinen L., Hujala T., Ojala A. (2016) The Health and Social Benefits of Nature and Biodiversity Protection. A report for the European Commission (ENVB.3/ETU/2014/0039). Institute for European Environmental Policy, London/Brussels, 288p.
- Trontin, C., Lassagne, M., Boini, S., Rinal, S. (2010). Le coût du stress professionnel en France en 2007, 6p.
- Ulrich, R. S., Cordoza, M., Gardiner, S. K., Manulik, B. J., Fitzpatrick, P. S., Hazen, T. M., Perkins, R. S. (2019). ICU Patient Family Stress Recovery During Breaks in a Hospital Garden and Indoor Environments. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*.
- UN COMTRADE (2013). Data analysed from <http://comtrade.un.org/>
- UNEP (2016). A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment. Nairobi, United Nations Environment program, 192p.
- UNESCAP/UNISDR (United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific/United Nations Office for Disaster Risk Reduction). (2012). Reducing Vulnerability and Exposure to Disasters. The Asia-Pacific Disaster Report 2012. UNESCAP/UNISDR, 164p.
- UNESCO et HELCOM (2017). Pharmaceuticals in the aquatic environment of the Baltic Sea region – A status report. UNESCO Emerging Pollutants in Water Series – No. 1, UNESCO Publishing, Paris.
- UNICEF (2017). 2,1 milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau potable salubre, accessible sur <https://www.unicef.fr/article/21-milliards-de-personnes-n-ont-pas-acces-l-eau-potable-salubre>
- United Nations (2003). Report on the World Social Situation, 2003. Social vulnerability: sources and challenges. Department for Economic and Social Affairs New York, 95p.
- United Nations (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York, 126p.
- Valtorta, N.K., Kanaan, M., Gilbody, S., Ronzi, S., Hanratty, B. (2016). Loneliness and social isolation as risk factors for coronary heart disease and stroke: systematic review and meta-analysis of longitudinal observational studies. *Heart*, 102(13), pp.1009-1016.
- Van den Berg, A.E., van Winsum-Westra, M., De Vries, S., Van Dillen, S.M. (2010). Allotment gardening and health: a comparative survey among allotment gardeners and their neighbors without an allotment. *Environmental Health*, 9(1), p.74.
- Van Renterghem, T. (2014). Guidelines for optimizing road traffic noise shielding by non-deep tree belts. *Ecological Engineering*, 69, pp.276-286.
- Van Renterghem, T., Forssén, J., Attenborough, K., Jean, P., DeFrance, J., Hornikox, M., Kang, J. (2015). Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. *Applied Acoustics*, 92, pp.86-101.
- Voeks, R.A. (2004). Disturbance pharmacopeias: Medicine and myth from the humid tropics. *Ann Assoc Am Geogr*, 94(4), pp.868-888.
- Vystavna, Y., Frkova, Z., Marchand, L., Vergeles, Y., Stolberg, F. (2017). Removal efficiency of pharmaceuticals in a full scale constructed wetland in East Ukraine. *Ecol. Eng.*, 108, pp.50-58.
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., Van Vliet, M. T. H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P., Wiberg, D. (2016). Modelling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WfS) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, Vol. 9, pp.175-222.
- Wagstaff, A. (2002). Poverty and health sector inequalities. Bulletin of the world health organization, 80, pp.97-105.
- Walters, C., Pool, E., Somerset, V. (2016). Nanotoxicology: a review. Toxicology—new aspects to this scientific conundrum. *InTech*, pp.45-63.
- WHO (2018a). Global health estimates 2016 summary tables: deaths by cause, age and sex, by World Bank Income group, 2000-2015. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- WHO (2018b). The top 10 causes of death. Accessible sur <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- WHO (2018c). Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen, 181p.
- WHO Regional Office for Europe, OECD (2015). Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 66p.
- Wood, C.L., Lafferty, K.D. (2013). Biodiversity and disease: a synthesis of ecological perspectives on Lyme disease transmission. *Trends in ecology & evolution*, 28(4), pp.239-247.
- Wu, B., Torres-Duarte, C., Cole, B.J., Cherr, G.N. (2015). Cu oxide and zinc oxide nanomaterials act as inhibitors of multidrug resistance transport in sea urchin embryos: their role as chemosensitizers. *Environ. Sci. Technol.* 49, pp.5760-5770.
- WWAP (2012). World Water Development Report 4th Edition. UN World Water Development Report. UNESCO World Water Assessment Program, Paris, 68p.
- WWAP (2016). The United Nations World Water development report, 2016: Water and jobs: facts and figures, 12p.
- WWAP et UN-WATER (2018). The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. Paris, UNESCO, 154p.
- Wyles, K.J., Pahl, S., Thompson, R.C. (2014). Perceived risks and benefits of recreational visits to the marine environment: Integrating impacts on the environment and impacts on the visitor. *Ocean. Coast. Manag.*, 88, pp.53-63.
- Yu-Chen Lin A., Tsai, Y.T. (2009). Occurrence of pharmaceuticals in Taiwan's surface waters: impact of waste streams from hospitals and pharmaceutical production facilities. *Sci Total Environ*, 407, pp.3793-3802.
- Zink, A., Samadelli, M., Gostner, P., Piombino-Mascali, D. (2019). Possible evidence for care and treatment in the Tyrolean Iceman. *International Journal of Paleopathology*, Volume 25, pp.110-117.

«La possession du meilleur état de santé qu'il est capable d'atteindre constitue l'un des droits fondamentaux de tout être humain». Tel est l'un des principes cités dans la Constitution de l'OMS.

Aujourd'hui, la dynamique d'effondrement de la biodiversité joue un rôle prépondérant dans l'augmentation des risques liés à la santé humaine. L'objectif de cette publication est de mettre en évidence les interdépendances entre santé et biodiversité, tout en montrant que la préservation de la diversité biologique est une condition *sine qua non* pour répondre aux enjeux contemporains de santé publique.

Les travaux se concentrent dans un premier temps sur les interdépendances entre maladies et biodiversité, en analysant le rôle de la biodiversité dans la dilution des maladies infectieuses, dans la lutte contre les maladies chroniques (à travers l'adoption de modes de vie plus sains) et dans la fourniture de médicaments nécessaires à la santé humaine.

L'étude se poursuit avec la mise en lumière du rôle essentiel de la biodiversité dans la satisfaction des besoins de l'être humain, notamment en termes de qualité de l'air, de fourniture d'eau de qualité et de systèmes agricole et alimentaire sains.

La bonne santé d'un individu n'étant pas seulement liée à son état de forme physiologique et physique, les travaux mettront enfin en exergue les bienfaits de la biodiversité sur le bien-être mental des individus, en apportant un éclairage sur les liens entre biodiversité et bénéfices psychologiques, cognitifs, culturels et sociaux.