



HAL
open science

Les menaces sur la biodiversité

Harold Levrel, Emmanuelle Baudry, Paul Leadley, Christian Mougin, Elsa Bonnaud, Céline Bellard, François Chiron

► **To cite this version:**

Harold Levrel, Emmanuelle Baudry, Paul Leadley, Christian Mougin, Elsa Bonnaud, et al.. Les menaces sur la biodiversité. Enjeux de la transition écologique, EDP Sciences, 38 p., 2022, 978-2-7598-2662-9. hal-03479058

HAL Id: hal-03479058

<https://universite-paris-saclay.hal.science/hal-03479058v1>

Submitted on 14 Dec 2021

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Chapitre 5

Les menaces sur la biodiversité

Ce chapitre décrit en détail les cinq principales menaces qui pèsent sur la **biodiversité** et qui sont toutes d'origine humaine : le changement d'usage des terres et des mers, la **surexploitation**, le changement climatique, les pollutions et les **espèces exotiques envahissantes**. Il évoque aussi les réponses à y apporter, lesquelles passent par une nécessaire transition écologique de nos modèles d'exploitation de la nature et de ses ressources. Aujourd'hui, les menaces entraînent la réduction des effectifs des populations d'**espèces**, et des processus en cascade peuvent même conduire à leur disparition à tout jamais. Comme nous le verrons, on assiste aussi à un phénomène d'**homogénéisation biotique** qui tend à perturber le fonctionnement des **écosystèmes** et leur capacité à s'adapter aux changements globaux.

5.1. Changements d'usage des terres et des mers – H. Levrel

Le changement d'usage des terres et des mers est actuellement la première cause d'**érosion** de la **biodiversité**. La question de l'évolution de l'usage des terres et des mers renvoie à la durabilité des modes d'exploitation des espaces naturels – forêts, prairies, zones humides – ou au problème de conversion de ces derniers en espaces agricoles. Pour les milieux marins, il s'agit principalement de rechercher un niveau d'exploitation des stocks de pêche qui soit soutenable.

5.1.1. Évolution de l'usage des sols au cours de l'Histoire

Dès le pléistocène, l'être humain a engendré des impacts significatifs sur la **biodiversité** par ses usages. Ainsi, il y a près de 50 000 ans, la colonisation du monde par Homo Sapiens va s'accompagner de pratiques qui vont changer de manière très importante les habitats terrestres. L'usage du feu pour rabattre les **espèces**, qu'il chasse, et faciliter la pousse d'**espèces** végétales comestibles va ainsi engendrer la disparition d'**écosystèmes** entiers. À titre d'exemple, on a observé en Australie un effondrement de la **mégafaune** entre -45 000 et -43 000 ans, avec la

disparition du kangourou géant, du wombat géant, du diprotodon (un marsupial géant) ou des genyornis (oiseaux géants de près de 1,80 m de hauteur mais qui ne volaient pas).

Il s'agissait d'un système d'exploitation que l'on peut qualifier d'extensif, car l'expansion démographique s'accompagnait de la colonisation de nouvelles terres une fois que les ressources d'un territoire donné avaient été exploitées. On peut parler d'une «[économie de la prédation](#)». Ce modèle va se poursuivre jusqu'à l'apparition de l'agriculture, il y a environ 12 000 ans. L'[espèce](#) humaine passe alors à un nouveau modèle économique d'usages de la nature : l'«[économie de la production](#)». Les humains se mettent en effet à produire des aliments grâce aux cultures et à l'élevage. Il s'agit d'un système d'exploitation que l'on peut qualifier d'intensif, qui vise à reproduire des ressources sur un territoire donné, contrairement au modèle extensif où Homo Sapiens se déplaçait pour trouver de nouvelles ressources en laissant se renouveler celles qu'il avait utilisées.

Pendant cette nouvelle phase, la croissance du [rendement](#) agricole des terres va permettre de créer les conditions matérielles nécessaires à une augmentation de la population humaine mondiale. C'est aussi pendant cette période qu'apparaissent une spécialisation des modes de production, la propriété privée, l'écriture, les empires, les civilisations, le commerce international, la monnaie, et finalement toutes les institutions capitalistes qui organisent encore aujourd'hui nos économies. C'est toujours pendant cette période que les premières villes apparaissent : Uruk, Ur, Smyrne ou Babylone.

À l'antiquité, puis au moyen-âge, on va voir apparaître les premières situations où la population humaine est telle que l'ensemble des capacités productives des [écosystèmes](#) ne suffit plus à produire assez de ressources pour accompagner la croissance démographique. C'est le cas à la veille de la chute de l'empire romain, mais aussi à la veille de l'apparition de la peste noire en Europe au XIV^e siècle.

Dans ces situations, l'occupation des sols est entièrement orientée vers la production agricole avec les terres fertiles pour la culture et les terres moins productives pour l'agropastoralisme. Le peu de forêts et de zones humides qui restent, est maintenu pour que les nobles puissent pratiquer la chasse et consommer du poisson les jours du jeûne. La moindre variabilité climatique peut générer des catastrophes humaines importantes, comme ce fut le cas pour l'empire romain notamment.

Les premières grandes explorations au XV^e siècle et la découverte de l'Amérique vont offrir cependant une opportunité unique d'augmenter fortement la population mondiale avec, de nouveau, une phase de développement extensif (exploitation des ressources naturelles, puis migration une fois celles-ci épuisées), puis de développement intensif (développement de cultures d'exportation dans les colonies pour alimenter le marché européen et international). La découverte de l'Amérique permet aussi d'importer de nouvelles plantes qui vont être progressivement mises en culture

en Europe, comme c'est le cas avec la pomme de terre, le maïs, la tomate, qui font partie aujourd'hui des principales [espèces](#) cultivées sur ce continent.

Au XVIII^e siècle, les [physiocrates](#) sont les premiers à proposer une théorie économique de l'usage optimal des terres. Cette théorie, née en France, préconise d'adopter des innovations techniques et institutionnelles pour augmenter les [rendements](#). Parmi les solutions techniques, les [physiocrates](#) mentionnent la nécessité d'assécher les zones humides pour « bonifier les terres » et les rendre propres à l'agriculture. Parmi les solutions institutionnelles, ils proposent de privatiser les terres collectives, dont les zones humides qui auront été préalablement asséchées, pour que les propriétaires aient un intérêt à investir dans ces dernières.

En effet, si une terre est en propriété commune, les usagers de cette dernière auront, selon les [physiocrates](#), souvent peu d'intérêt à investir du temps dans la valorisation de celle-ci puisque les bénéfices qui en découleront seront partagés entre toutes les personnes ayant accès à cette terre. Ils mettent ainsi en avant un principe, maintes fois repris depuis, de la nécessité de mettre en place des dispositifs incitatifs fondés sur une logique individuelle et privée. Ces préconisations vont être largement suivies en Angleterre, par exemple, où les terres vont être privatisées de manière massive (les « [enclosures](#) », voir section 1.6.1). Certes, cela va conduire à augmenter les [rendements](#) des terres, et à spécialiser la production agricole, mais l'autre effet de ces mesures est de faire exploser la pauvreté dans les zones rurales car les ressources en propriété commune bénéficiaient avant tout aux plus démunis. La conséquence indirecte sera de libérer une main d'œuvre peu coûteuse pour alimenter la croissance de l'industrie dans les villes.

Au cours du XIX^e siècle, puis du XX^e, les usages des terres vont fortement évoluer avec l'apparition d'instituts de recherche agronomique dans les pays occidentaux et le recours croissant à des modes de production agricole, qui s'inspirent des méthodes développées pendant la révolution industrielle : sélection des variétés les plus productives, production intensive et spécialisée, mécanisation, utilisation du pétrole, recours massif à l'irrigation, utilisation de la chimie pour fournir des engrais de synthèse et des [pesticides](#) permettant de détruire les herbes, les insectes et les champignons nocifs pour les cultures. Tout cela va mener à ce qu'on appelle la révolution verte. Le monde passe alors à un mode d'exploitation hyper-intensif des terres.

5.1.2. La révolution verte et l'usage hyper-intensif des sols

Un indicateur aide à prendre la mesure de la façon dont l'usage des sols a évolué au cours des âges : le nombre de personnes qui peuvent être nourries pour une surface donnée de terre. Lorsqu'Homo Sapiens était un chasseur-cueilleur, il lui fallait près de 10 km² pour nourrir une personne. Au moyen-âge, 1 km² pouvait permettre de nourrir 2 à 5 personnes. Aujourd'hui, 1 km² d'agriculture conventionnelle permet de

nourrir 100 personnes. On parle parfois des trois Malthus, dans le sens où la limite de la planète, telle qu'elle a été décrite par cet économiste au début du XIX^e siècle, dépend désormais fortement des techniques agronomiques mobilisées.

La révolution verte a eu des conséquences à la fois positives et négatives. Elle a d'abord favorisé et permis d'accompagner la forte croissance de la population mondiale au XX^e siècle, avec un niveau de nutrition par habitant qui s'est considérablement amélioré, même si ces gains sont restés très inégaux. La population humaine était de 1,6 milliards en 1900. Elle est aujourd'hui de 7,5 milliards. Et, en moyenne, elle souffre moins de faim.

Elle a aussi permis de ne pas détruire tous les **écosystèmes** de la planète. En effet, si le niveau de **rendement** des terres agricoles était resté celui du XIX^e siècle, notre croissance démographique aurait engendré beaucoup plus de destruction dans certaines zones de la planète. La situation est, cependant, très variable selon les régions du monde. On constate actuellement une forte déforestation dans l'hémisphère sud, où des systèmes extensifs et intensifs cohabitent, et une forte croissance de la forêt dans l'hémisphère nord où le système agricole intensif et la stagnation de la population ont entraîné une forte déprise agricole et un retour de ces milieux naturels.

Un dernier point positif est que, si la population a été multipliée par 4 entre 1900 et 2000, la consommation de production primaire de **biomasse** végétale n'a fait que doubler. Ainsi, Homo Sapiens s'appropriait 13% de la **biomasse** totale de la planète en 1900. Il s'en approprie « seulement » 25% en 2000.

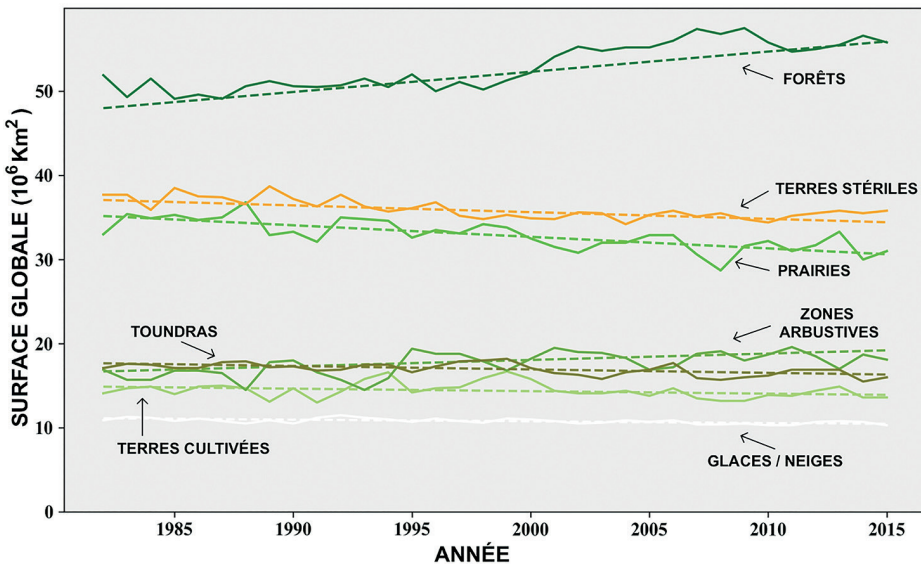


Figure 5.1: Évolution de l'occupation des sols dans le monde de 1980 à 2015. Les surfaces bâties sont passées de 0,4% à 0,6% dans le monde pour la période 1990-2014. D'après : [1] Creative Common 4.0.

Le bilan, en termes d'évolution de l'occupation des terres, semble ainsi relativement raisonnable sur la période 1980-2015 (Fig. 5.1) [1]. Les surfaces dédiées à la culture semblent avoir légèrement baissé (-60 000 km²), les surfaces forestières fortement augmenté (570 000 km²), les surfaces de prairie fortement régressé (-420 000 km²), les zones désertiques ont aussi décliné (-165 000 km²), sachant que les zones urbaines ont doublé sur la même période, mais qu'elles ne représentent qu'une très faible part de la surface de la planète (0,6 %).

Pourtant ces chiffres qui peuvent apparaître comme relativement positifs masquent une réalité qui est toute différente. La première remarque est que si la production agricole a pu augmenter sans faire exploser la consommation de biomasse naturelle, c'est uniquement parce qu'elle a largement pioché dans la biomasse qui s'est accumulée pendant des millions d'années dans nos sous-sols, à savoir les énergies fossiles qui sont le carburant de l'agriculture moderne, de la chimie verte et des engins mécaniques.

Par ailleurs, le recours aux produits de synthèse, que ce soit en tant qu'engrais ou pesticides, a engendré une pollution massive des terres (voir section 2.5), des cours d'eau, des nappes phréatiques et des organismes vivants (voir section 2.4) qui sont en contact avec ces produits. À cela s'ajoute une très forte érosion des sols que l'on constate partout dans le monde du fait des pratiques intensives. Ensuite, si le bilan global des forêts est bon, le contenu de ce qui est perdu d'une part – forêts équatoriales très riches en biodiversité – et de ce qui est gagné de l'autre – forêts de résineux très pauvres en biodiversité – est incomparable. Enfin, l'accent mis aujourd'hui sur les besoins en séquestration de carbone conduit à créer des plantations d'arbres qui font disparaître d'autres écosystèmes souvent plus riches en biodiversité, comme c'est le cas pour les prairies. Dans ce bilan, on voit ainsi se dessiner un monde où l'occupation du sol serait guidée par la capacité des terres à produire des ressources alimentaires, des biocarburants ou des puits à carbone, avec des conséquences catastrophiques sur la biodiversité.

Plus encore, le bilan fait l'impasse sur les zones humides qui sont difficiles à qualifier à partir des données satellites, mais pour lesquelles on sait, à partir de suivi sur site, qu'elles ont connu une très forte érosion au cours des deux derniers siècles. Ainsi il est estimé que seules 13% des zones humides existant en 1700 sont encore présentes aujourd'hui sur le globe [2].

5.1.3. L'usage des mers, pêche extensive et aquaculture

Concernant le monde marin, la description historique de l'évolution des pêches est beaucoup plus simple, car elle est basée sur un système extensif qui n'a pas vraiment changé depuis le début de l'histoire humaine. À mesure que les stocks de pêche ont été surexploités sur la planète, les pêcheurs ont été toujours plus loin, toujours plus profond et avec des instruments de pêche toujours plus efficaces. Le développement de bateaux usines pouvant aller pêcher partout dans le monde à

n'importe quelle profondeur et congeler directement les produits pour les conserver, en est le résultat direct. Le corollaire de cette augmentation de l'intensité de pêche, observée sur l'ensemble des océans, est une stagnation de la **biomasse** totale de poissons débarquée depuis le milieu des années 1980 [3].

Depuis cette période, le monde de la pêche connaît des crises économiques et écologiques récurrentes avec des conséquences importantes pour des secteurs d'activité dans les pays du Nord et des effets beaucoup plus dramatiques dans les pays du Sud où une partie de la sécurité alimentaire dépend de l'apport en protéines issus des stocks de pêche. L'aquaculture a pris le relais de manière à augmenter la production de protéines issues des poissons à destination des consommateurs (Fig. 5.2). Cette pêche industrielle, qui utilise principalement des arts traînants (chalut), génère des effets catastrophiques sur les habitats naturels et la **biodiversité** marine dans son ensemble. Elle est d'autant plus nocive qu'elle est fortement émettrice de gaz à effets de serre et totalement dépendante d'un prix du **baril** de pétrole bas et d'exonérations fiscales sur la consommation de fioul lourd hyper toxique.

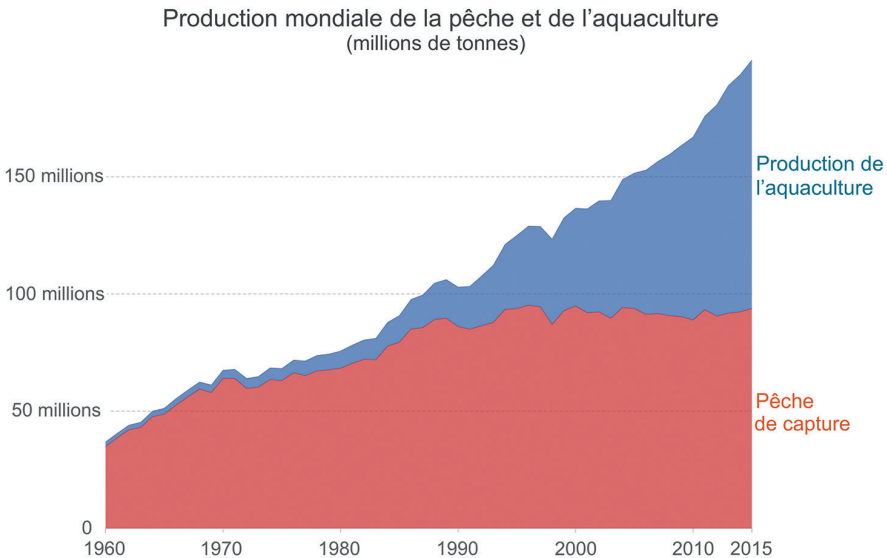


Figure 5.2 : Évolution de la pêche de capture et de l'aquaculture dans la production mondiale de pêche de 1950 à 2012. Source : FAO : 2014 – <https://ourworldindata.org/fish-and-overfishing> (CC by).

5.1.4. Changements récents dans les usages des terres et des mers

Pour ce qui concerne les pratiques agricoles, on a vu ces dernières années une forte augmentation de la conversion d'exploitations agricoles en bio, en particulier

en Europe. Ces conversions sont alimentées par deux facteurs principaux. Le premier est une augmentation de la demande des consommateurs pour des produits considérés comme meilleurs pour leur santé et moins nocifs pour l'environnement, et qui sont prêts à payer plus cher pour cela. Le second tient aux évolutions du monde agricole lui-même, qui cherche à être moins dépendant des marchés internationaux et des entreprises semencières, mais aussi à être moins en contact avec des produits dangereux pour la santé. Le taux de surfaces agricoles utiles dédiées à l'[agriculture biologique](#) en France est ainsi passé de 800 000 ha à 2,2 millions d'ha entre 2010 et 2019.

Cette tendance à l'augmentation du bio est présente dans tous les pays de l'OCDE. Certes, cela conduit à une baisse des [rendements](#), mais cela permet aussi de questionner le gâchis alimentaire tout autant que les modes d'alimentation, notamment en viande et tout particulièrement en viande de bœuf, qui sont nocifs pour le climat, la [biodiversité](#) et, au-delà d'un certain seuil, pour la santé humaine. Cela invite aussi à désacraliser la question des [rendements](#), à « désintensifier » la production (en remettant du travail humain dans les exploitations) et à imaginer des systèmes agro-écologiques plus diversifiés au sein desquels on renonce au contrôle des dynamiques naturelles pour mieux « capitaliser » sur ces dernières.

Un autre élément positif à souligner est le renforcement, dans les pays de l'OCDE, d'une régulation de l'effort de pêche par la puissance publique, qui commence enfin à porter ces fruits. Ainsi, une étude récente sur l'évolution de l'ensemble des « stocks » de pêche dans le monde, dont 50% sont effectivement gérés, conclut à un effet significatif des mesures de régulation, notamment en matière de quotas de pêche. De nombreux stocks seraient ainsi en phase de régénération, en particulier là où ils sont bien suivis et où des quotas visant à respecter les taux de renouvellement des populations de poissons ont été appliqués et contrôlés [4]. C'est le cas pour les stocks situés en Atlantique notamment.

Ces premiers exemples d'évolution dans les usages des terres et des mers, dont on commence à percevoir les effets positifs pour les humains et la [biodiversité](#) dans son ensemble, nécessitent cependant d'être amplifiés, complétés et généralisés dans un futur proche pour espérer voir apparaître une réelle transition écologique de nos modèles économiques d'exploitation de la nature.

5.2. La surexploitation des ressources naturelles – E. Baudry

La [surexploitation](#) des ressources naturelles fait partie des cinq menaces qui pèsent sur la [biodiversité](#). Elle est actuellement classée en deuxième des plus grandes menaces sur la [biodiversité](#) derrière le changement d'usage des terres et des mers.

5.2.1. Définition de la surexploitation

Pour l'humanité, la **biodiversité** constitue une ressource incroyable en nourriture, par exemple de poisson et de gibier, et en matières premières, par exemple le bois. Ces ressources se renouvellent naturellement, mais à une certaine vitesse. On parle de **surexploitation** des ressources naturelles quand on prélève les ressources en question plus vite qu'elles ne peuvent se renouveler⁴⁶. Nous verrons qu'il peut s'agir d'une ou de plusieurs **espèces** qui peuvent être concernées.

Pour avoir une idée de l'ordre de grandeur de ces prélèvements, il faut savoir que chaque année dans le monde, on capture 93 millions de tonnes de poissons⁴⁷ et qu'on prélève 15,3 milliard de tonnes de bois [5]. De très grands volumes de ressources naturelles sont donc prélevés annuellement.

5.2.2. Conséquences directes de la surexploitation : l'exemple de la pêche à la morue au large de terre-neuve

La **surexploitation** d'une **espèce** peut avoir des conséquences directes. Si on prélève une **espèce** plus vite qu'elle ne se renouvelle, alors ses effectifs vont fortement diminuer. Elle risque même de disparaître, au moins localement, et les humains ne vont plus pouvoir utiliser cette **espèce**.

Un exemple classique de conséquences directes de la **surexploitation** d'une **espèce** est celui de la pêche à la morue en Atlantique nord (Fig. 5.3).

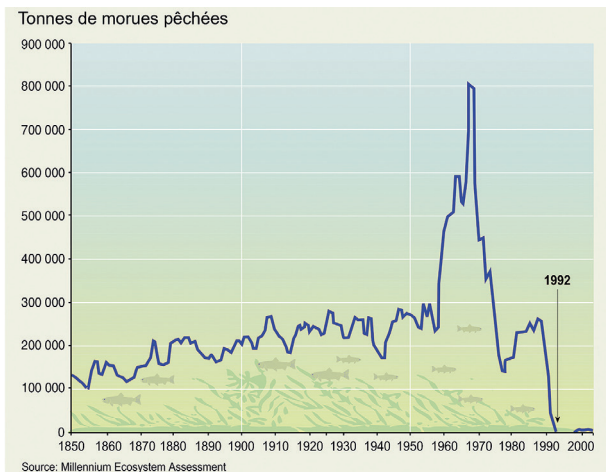


Figure 5.3: Surexploitation du stock de morue de l'Atlantique dans la zone de terre neuve (Source: Millenium Ecosystem Assessment).

46. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Surexploitation>

47. Chiffres de prélèvement de poisson par an : <https://ourworldindata.org/rise-of-aquaculture>

Le volume de morues pêchées au large de Terre-Neuve est assez stable entre 1850 et 1950. Par contre, à partir de la fin des années 1950, l'introduction des chalutiers de fond a entraîné une forte augmentation des captures. Ce prélèvement très important a dépassé les capacités de renouvellement de la population de morue et a entraîné un effondrement de cette population au début des années 1990⁴⁸.

5.2.3. Conséquences directes et indirectes de la surexploitation des ressources, l'exemple de l'Île de Pâques

La **surexploitation** des ressources peut aussi avoir des conséquences indirectes, car la disparition de l'**espèce**, qui a été surexploitée, peut modifier ensuite l'**écosystème** local. C'est ce qui est arrivé sur l'Île de Pâques où la **surexploitation** des arbres a eu des conséquences à la fois directes et indirectes. L'Île de Pâques est située dans l'océan pacifique, à 3 000 km environ à l'ouest des côtes du Chili. Elle est célèbre notamment pour la grande quantité de statues monumentales très impressionnantes, les Moaïs, qui ont été érigées par ses habitants (Fig. 5.4). Ces statues sont disposées tout autour de l'île qui présente, à l'heure actuelle, un paysage très austère avec une végétation très rase, sans arbres, sans cours d'eau⁴⁹.



Figure 5.4 : Les Moaïs de la carrière de [Rano Raraku](#) sur l'île de Pâques. Creative commons 3.0, source : Claire Provost.

L'Île de Pâques illustre, de façon très frappante, un cas de **surexploitation** d'une ressource naturelle, à savoir les arbres de l'île, et les conséquences assez dramatiques de cette **surexploitation** sur l'**écosystème** de l'île et donc pour les habitants. Un groupe de polynésiens aurait colonisé l'Île autour de 1200. Les habitants de l'île sont ensuite restés complètement isolés, sans contact avec l'extérieur, jusqu'à la

48. https://fr.wikipedia.org/wiki/Effondrement_de_la_p%C3%A4cherie_de_morue_de_Terre-Neuve

49. https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%8Eile_de_P%C3%A2ques

première visite par les navigateurs européens au XVIII^e siècle. L'analyse des pollens fossiles contenus dans les sédiments des lacs a montré qu'initialement, l'île de Pâques était couverte d'une forêt dense avec une vingtaine d'espèces d'arbres et d'arbustes, notamment de très grands palmiers (Fig. 5.5).

Cette forêt, qui a été une ressource extrêmement utile pour les colons, a été surexploitée; les habitants ont utilisé les arbres plus vite qu'ils ne pouvaient repousser. La plupart des palmiers ont disparu dès 1450, donc très rapidement, environ deux siècles après la colonisation, et vers 1650 il ne restait plus aucun grand arbre. La disparition de la forêt par suite de la surexploitation a entraîné des conséquences dramatiques pour les habitants⁵⁰.

La surexploitation des palmiers a d'abord eu des conséquences directes. Le palmier est, en effet, un arbre particulièrement utile dans la culture polynésienne. Il produit de la nourriture, beaucoup de sève, des noix, des cœurs de palmier, et du matériel pour faire, par exemple, des paniers ou des voiles de pirogue. D'autres espèces d'arbres avaient donné des fruits comestibles, des fibres pour les cordes, et, bien sûr, du bois. Le bois est un matériau très précieux puisqu'il permet de construire les pirogues et les toits des bâtiments, de faire des outils et bien sûr aussi de cuire les aliments. Après la disparition des arbres, les données archéologiques montrent que les habitants de l'île ont dû brûler des herbes pour se chauffer et pour cuire leurs aliments. Ils ont dû faire leurs outils et leur bâtiment uniquement avec des pierres et ils ont dû arrêter la pêche, car ils ne pouvaient plus construire de pirogues. Les données archéologiques indiquent qu'après la disparition des arbres, les sources principales de protéines des habitants sont devenues les rats et les poulets⁵¹.



Figure 5.5: Reconstitution du paysage de l'île de Pâques au moment de la colonisation initiale, vers 1200. Creative commons 3.0, source : Rod6807.

50. http://www.kaowarsom.be/documents/PUBLICATIONS/EASTER%20ISLAND_COLLAPSE_TRANSFORMATION.pdf

51. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ajpa.22339>

La **surexploitation** eu également des conséquences indirectes sur l'**écosystème** de l'île. En l'absence de la couverture d'arbres, le sol a été exposé au soleil, au vent et à la pluie, et a subi une **érosion** extrêmement forte, qui a fait disparaître la couche supérieure fertile du sol sur une grande partie de l'île. Ceci a considérablement réduit la fertilité des sols de l'île et donc leur productivité pour l'agriculture.

Dans cet exemple, on voit bien que la **surexploitation** des arbres a eu des conséquences très négatives au niveau écologique et pour les habitants de l'île.

5.2.4. Prélever de façon durable

Il nous faut donc éviter de surexploiter les ressources naturelles, ne serait-ce que pour pouvoir continuer à en bénéficier. Pour prélever de façon durable une **espèce**, il suffit de la prélever moins vite que sa capacité de renouvellement. Cela peut paraître très simple, mais on peut se trouver confronté à deux difficultés majeures: d'une part, il faut savoir estimer correctement la capacité de renouvellement de l'**espèce** exploitée et d'autre part, il faut aussi réussir à se mettre d'accord pour diminuer les prélèvements. Lorsque plusieurs acteurs prélèvent une ressource, il est souvent tentant pour chacun des acteurs de continuer à prélever en espérant que ce sont les autres qui feront l'effort de prélever moins. C'est notamment ce qui s'est passé au large de Terre-Neuve où il y avait des bateaux provenant de nombreux pays qui pêchaient la morue. Cet exemple de tragédie des biens communs (voir section 1.6) rend, en général, nécessaire de mettre en place des régulations pour éviter la **surexploitation**.

5.3. Le changement climatique – P. Leadley

Inspiré du MOOC UVED : Impact du changement climatique sur les **écosystèmes** et la **biodiversité**
www.uved.fr/fiche/ressource/causes-et-enjeux-du-changement-climatique/30/debutant#sequence.

Le changement climatique est l'une des principales menaces, qui pèse sur la **biodiversité**. De fait, le réchauffement climatique et l'**érosion** de la **biodiversité** sont deux menaces majeures sur l'ensemble de notre planète, qui ne pourront être affrontées indépendamment l'une de l'autre. Les différents aspects du réchauffement climatique seront abordés en détail dans les chapitres ultérieurs 7, 8 et 9 de cet ouvrage. Rappelons simplement ici que le réchauffement moyen sur l'ensemble de planète est estimé être d'environ 1 °C depuis le début de l'ère industrielle. Pour le siècle en cours, les modèles climatiques prévoient des niveaux de réchauffement qui pourront atteindre 2, 4, voire même 6 °C selon les **scénarios** et l'importance de nos émissions de **gaz à effet de serre** (voir sections 9.2 et 9.3). Ces niveaux d'augmentation sont de nature à modifier profondément les **écosystèmes** marins ou terrestres, sachant que les modifications en cours sont déjà largement perceptibles. Pour une grande partie des **espèces**, le réchauffement les oblige à changer leur **aire de répartition** et à migrer vers des régions plus froides ou plus tempérées. Toutes ne peuvent

se déplacer avec la vitesse suffisante et certaines sont ainsi menacées d'extinction. Dans ce qui suit, nous illustrons ce phénomène pour les principaux types d'écosystèmes.

5.3.1. Impacts du réchauffement climatique sur les écosystèmes marins

Le graphique de la figure 5.6 illustre les déplacements que certaines espèces marines ont déjà effectués depuis les dernières décennies. On se rend compte qu'elles se sont effectivement déplacées, parfois beaucoup. Le déplacement le plus important est celui des phytoplanctons qui ont bougé de plus de 400 kms par décennie pour suivre le changement climatique. Les autres espèces se sont moins déplacées, mais toutes ont essayé d'échapper au réchauffement climatique en migrant vers les pôles.

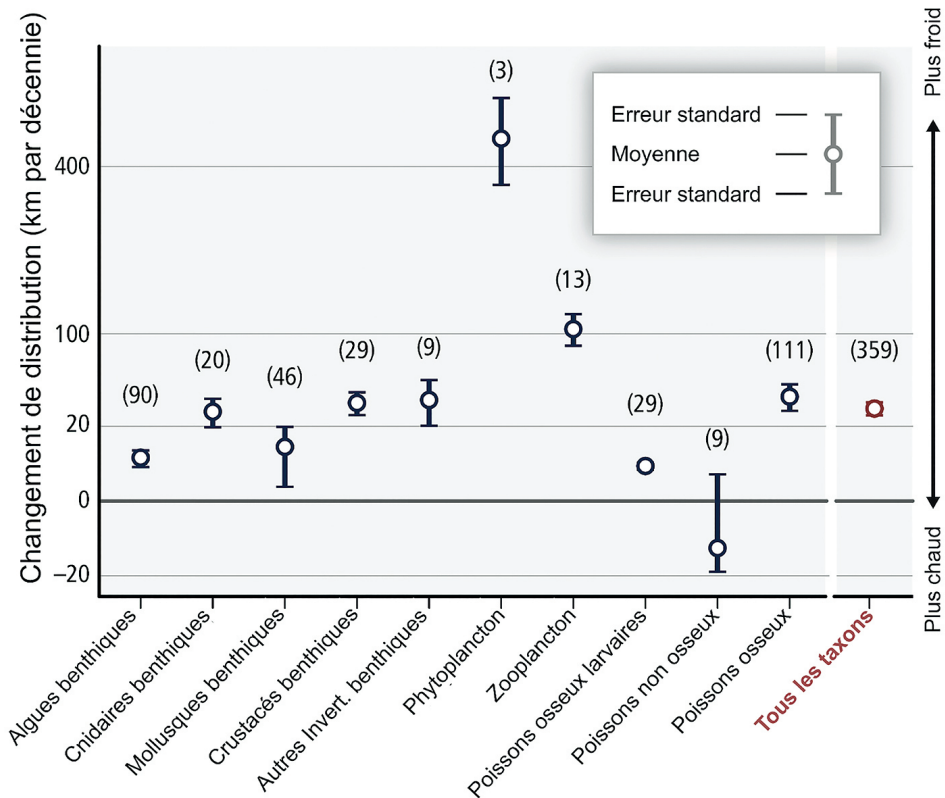


Figure 5.6 : Déplacement de différentes espèces marines au cours des dernières décennies (leur vitesse de déplacement est exprimée en km/décennie). Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre d'analyses qui ont été menées pour chacune de ces espèces. Source : IPCC AR5 WGII 2014, chapitres 6, 23 et 30.

Il apparaît clairement que la distribution des **espèces** est modifiée et par voie de conséquence, le fonctionnement des **écosystèmes** l'est aussi. Les principales **espèces** touchées sont celles qui ont des difficultés à se déplacer. De ce point de vue, les **écosystèmes** les plus menacés sont les récifs coralliens. Rappelons que les coraux sont des petits animaux de l'embranchement des cnidaires, qui se dotent de petits exosquelettes calcaires en carbonate de calcium pour constituer effectivement un récif corallien. Le problème est qu'à partir du moment où l'eau devient acide dû aux rejets de **dioxyde de carbone** dans l'**atmosphère**, les coraux ont des difficultés à construire leurs petits exosquelettes (voir aussi section 8.3). De plus, lorsque les océans se réchauffent, les coraux ont tendance à blanchir lorsqu'ils expulsent leur **phytoplancton** symbiotique, ce qui peut être mortel pour ces **espèces**. Depuis plusieurs décennies, on constate de plus en plus de blanchiment des récifs coralliens, et pour certains récifs, comme celui de la Grande Barrière d'Australie, la couverture de coraux en bon de santé décroît constamment (Fig. 5.7). Ce sont donc des **écosystèmes** extrêmement vulnérables. Plus généralement, le réchauffement et l'**acidification des océans** ont des effets très néfastes sur toutes les **espèces**. Les principaux impacts en termes de ressources alimentaires concernent les pêcheries, notamment celles qui dépendent des récifs coralliens. À cela s'ajoute le fait que la présence des récifs coralliens réduit aujourd'hui les impacts éventuels des tempêtes sur les côtes, et que leur disparition fera disparaître du même coup ce rôle protecteur.

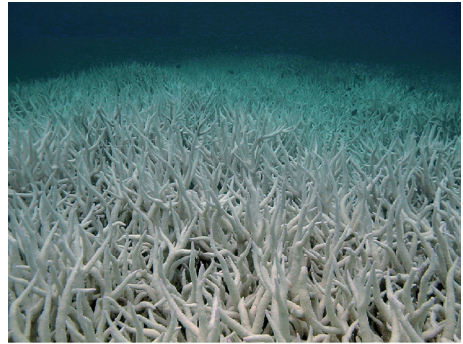
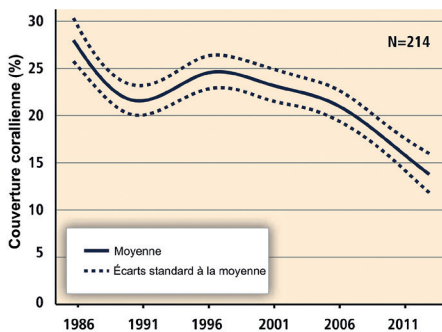


Figure 5.7 : À gauche : la diminution continue de la couverture corallienne sur la Grande Barrière d'Australie (N = 214 récifs) au cours de la période 1985-2012. À droite : le blanchiment des coraux. Sources : IPCC AR5 WGII 2014, chapitres 6, 23 et 30 et *Global Biodiversity Outlook 4*, chapitre 10.

5.3.2. Impacts du réchauffement climatique sur les écosystèmes terrestres

Si l'on considère à présent les **écosystèmes** terrestres et, plus particulièrement, les **espèces** des milieux terrestres, on constate qu'il y a une très grande disparité dans leur capacité à se déplacer pour faire face au réchauffement climatique, ce qu'illustre le graphique de la [figure 5.8](#).

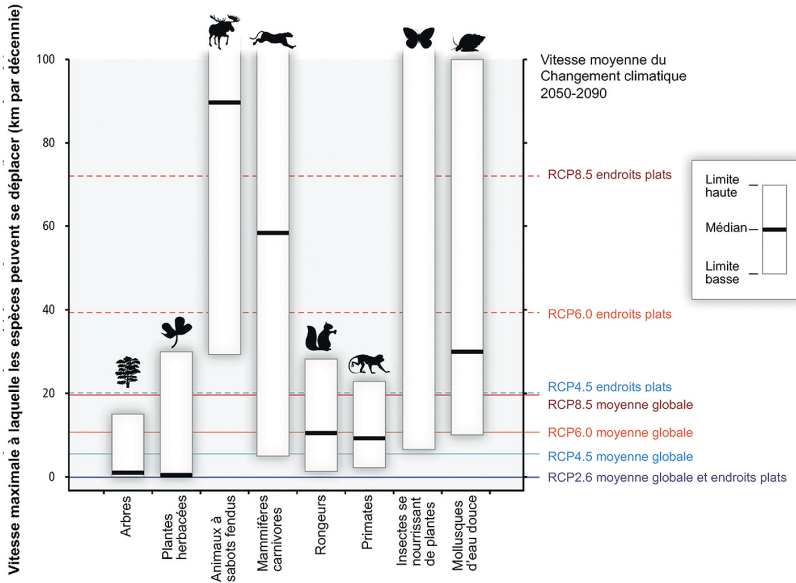


Figure 5.8 : Vitesse de déplacement de différentes espèces terrestres exprimée en km/décennie. Les lignes horizontales en couleur indiquent les vitesses qui seraient nécessaires pour échapper au réchauffement selon différents scénarios climatiques et le type de topographie. Source : IPCC AR5 WGII 2014, chapitre 4.

On constate à l'évidence que les arbres et les plantes herbacées ne peuvent pas changer facilement d'aire de répartition, moins de 10 kms par décennie, alors que les grands mammifères ont la capacité de se déplacer rapidement. Les lignes horizontales en couleur sur le graphique de la figure 5.8 indiquent les vitesses de déplacement qui seraient nécessaires aux espèces pour échapper au réchauffement climatique selon différents scénarios envisagés d'émission de gaz à effet de serre (voir sections 9.2 et 9.3). Dans le cas du scénario RCP2.6 où les émissions de gaz à effet de serre seraient très faibles à la fin du siècle, les espèces n'auraient pratiquement pas la nécessité de se déplacer. Même les arbres et les plantes herbacées pourraient s'adapter au changement climatique. Par contre, dans le cas du scénario RCP8.5 où les émissions de gaz à effet de serre seraient très élevées ou dans le cas des endroits plats (plaines étendues) ou dans les deux cas simultanément, la vitesse de déplacement des arbres et des plantes herbacées ou même des petits rongeurs et des primates, serait insuffisante pour leur permettre de s'adapter au réchauffement climatique.

Que se passerait-il donc si les plantes et les arbres ne peuvent pas bouger ? Tout simplement et malheureusement, certaines espèces vont disparaître de la partie de leur aire de répartition où il fait trop chaud ou trop sec. Et c'est, effectivement, ce qu'on commence à voir pour certains arbres. Ils meurent à cause de la sécheresse et de la température très élevée. Le graphique de la figure 5.9, fait le recensement de

l'ensemble des endroits où l'on commence à voir des dépérissements des arbres sur tout le globe.

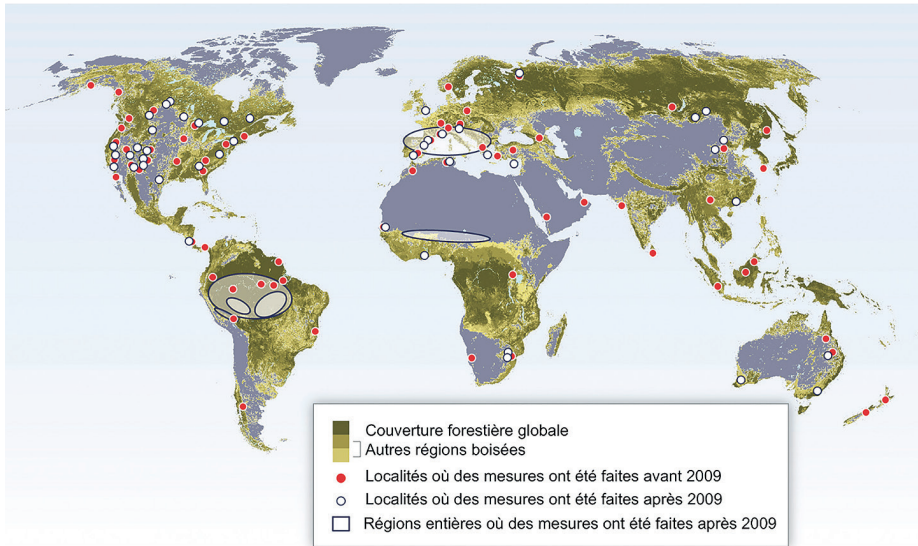


Figure 5.9 : Régions du monde où se manifestent des **sécheresses** sévères avec mortalité des arbres. (Couverture forestière et autres parties boisées dans le monde). Les points rouges correspondent à des études locales, faites avant 2009. Les mesures plus récentes sont indiquées par des points blancs ou des formes ovales. Source : IPCC AR5 WGII 2014, chapitre 4.

Les scientifiques ont aussi conçu des modèles pour tenter de prédire l'avenir des arbres (voir section 6.2). Plusieurs modèles ont ainsi été utilisés pour étudier l'impact du changement climatique sur les arbres en France, notamment sur le pin sylvestre, car c'est une essence très importante pour la foresterie [6]. Hormis certains endroits, surtout en montagne, où le **climat** deviendrait plus favorable au pin sylvestre, les résultats des différents modèles utilisés dans l'étude indiquent que globalement en plaine, le **climat** va lui devenir très défavorable dans les prochaines années. Il faut donc prendre en compte ces résultats en foresterie et probablement décider de ne plus planter de pins sylvestres, car la récolte du pin sylvestre ne se fait qu'au bout d'une cinquantaine d'années ou plus. De manière générale, le réchauffement climatique va donc fortement modifier nos forêts, non seulement les arbres, mais toutes les **espèces** qui dépendent des arbres dans ces forêts.

5.3.3. Impacts du réchauffement climatique sur les écosystèmes d'eau douce

Nous terminons ici notre bref tour d'horizon en considérant les **écosystèmes** d'eau douce. Ces **écosystèmes** sont, en effet, très sensibles au changement climatique et sont surtout des **écosystèmes** en haute montagne. On sait que les glaciers

sont en train de rétrécir partout sur la planète. Un tout petit rétrécissement a plutôt tendance à augmenter le débit dans les rivières, mais un fort rétrécissement diminue leur débit. Comme l'illustre le graphique de la [figure 5.10](#), la richesse spécifique dans les rivières diminue fortement, dès que le recouvrement d'un bassin versant par les glaciers se réduit de manière significative.

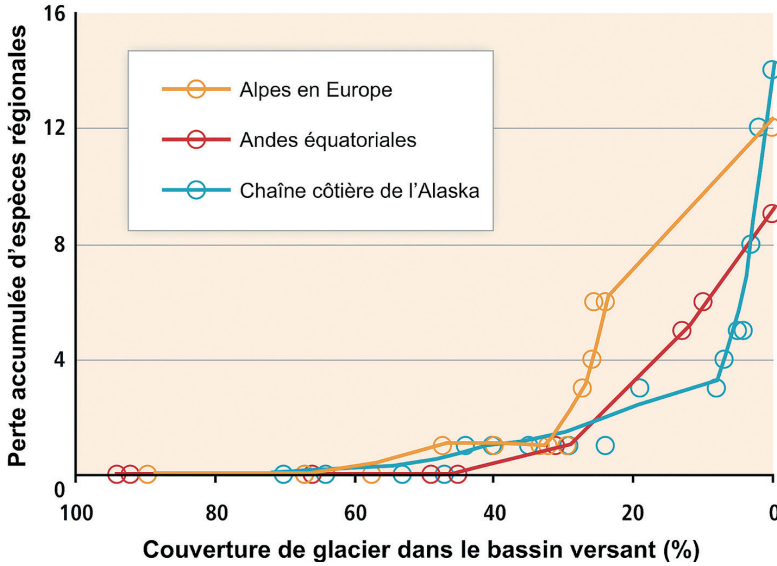


Figure 5.10: Perte de la **biodiversité** associée à la diminution de la couverture des glaciers sur les bassins versants. Trois régions du monde sont considérées. Source: IPCC AR5 WGII 2014, chapitre 4.

En conclusion, on constate que le réchauffement climatique a déjà commencé à faire migrer les **espèces** de leurs aires de répartition initiales. On constate aussi, à partir des modèles, que le déplacement des **espèces** va encore s'accroître avec le réchauffement climatique à venir. Si l'on peut minimiser les émissions de **gaz à effet de serre**, cet effet va rester acceptable à défaut d'être négligeable. Mais si nos émissions de **gaz à effet de serre** se poursuivent au rythme actuel, beaucoup d'**espèces** ne pourront pas s'adapter et se déplacer assez rapidement pour « suivre » le changement climatique. Il faut donc craindre des impacts très forts à la fois sur la **diversité spécifique** et la **diversité écosystémique**.

5.4. Impacts des pollutions sur la biodiversité – C. Mougin

Identifiée(s) comme la quatrième cause de perte de **biodiversité** sur Terre, la pollution, ou plutôt les pollutions, sont multiples par leur nature, leur étendue géographique ou persistante dans le temps, qu'elles soient physiques, chimiques, radiochimiques ou encore biologiques, toutes impactent la **biodiversité**. Nous nous

concentrerons sur deux types de pollution : la **pollution lumineuse** dont la prise en compte est relativement récente [7], et la **pollution chimique** qui est plus classiquement mentionnée.

5.4.1. La pollution lumineuse

La **pollution lumineuse** englobe l'ensemble des sources de lumière artificielle, qui dégradent les cycles de la lumière naturelle (jour/nuit et saisons) et modifient la composante nocturne de l'environnement. Cette pollution croît très rapidement à travers le monde, de 6% par an en moyenne, et, dans certaines régions, l'obscurité n'existe plus (Fig. 5.11). La **pollution lumineuse** impacte négativement le vivant, en particulier le comportement des animaux, mais aussi les rythmes biologiques et la physiologie de l'ensemble des organismes, animaux et végétaux chlorophylliens⁵² [8].



Figure 5.11: L'Europe vue du ciel la nuit. Photo : @istock

Près de 30% des vertébrés (mammifères, oiseaux, etc.) et 65% des invertébrés (insectes...) sont exclusivement ou partiellement nocturnes. En leur envoyant des signaux lumineux contradictoires, la **pollution lumineuse** induit chez les animaux une représentation spatiale et temporelle dégradée de leur environnement. Par son rôle attractif ou répulsif, elle perturbe leur orientation. C'est ainsi le cas des insectes nocturnes (moustiques, papillons, mouches et coléoptères, etc.) qui se retrouvent piégés ou carbonisés sur les lampes et réverbères par lesquels ils ont été attirés. Chez les **espèces** bioluminescentes comme les vers lumineux, la **pollution lumineuse** perturbe la communication entre les individus.

52. <http://www.espaces-naturels.info/pollution-lumineuse-et-biodiversite-enjeu-pour-ensemble-territoire>

Les oiseaux sont également impactés. En période de nidification, adultes et juvéniles peuvent être attirés par des sources lumineuses parasites, qui les désorientent et perturbent leur retour au nid. La majorité des oiseaux migrateurs se déplace la nuit, et s'oriente grâce à la position des étoiles. En pénétrant la nuit dans les dômes lumineux qui se forment au-dessus des villes, ou éblouis à cause des lumières artificielles provenant d'édifices tels que les phares, les tours, les plates-formes pétrolières..., ils sont désorientés et subissent des mortalités importantes dues à des collisions directes.

Un autre exemple très connu d'impact de la **pollution lumineuse** concerne la reproduction des tortues marines. Sur les plages, après l'éclosion des œufs, les jeunes tortues ne peuvent pas retrouver la mer en se repérant sur l'horizon nocturne, ce qui induit des surmortalités par épuisement et par prédation accrue.

La **pollution lumineuse** impacte également l'activité alimentaire des animaux. Ainsi, les micromammifères se nourrissent moins dans les zones fortement éclairées, et s'affaiblissent. Certaines **espèces** de batraciens chassent avec une intensité lumineuse très faible, d'autres au contraire préfèrent des intensités plus fortes. Une homogénéisation de l'intensité lumineuse par un éclairage artificiel modifie les comportements de chasse, génère des compétitions entre **espèces**, ou encore modifie le rapport entre les proies et les prédateurs.

5.4.2. La pollution chimique

La **pollution chimique** est souvent mentionnée comme une cause majeure du déclin de la **biodiversité**⁵³ [9, 10]. Par leurs nombreuses activités industrielles, domestiques et agricoles, les humains produisent, utilisent et relarguent dans l'environnement de très nombreux composés chimiques inorganiques tels que les métaux ou organiques tels que les hydrocarbures, les organochlorés, les **pesticides**, les **perturbateurs endocriniens**, etc. Les concentrations en polluant dans l'ensemble des milieux naturels marins et continentaux sont souvent faibles, sauf en situation accidentelle, mais ces composés peuvent impacter durablement les êtres vivants. L'étude de ces impacts s'appuie sur l'**écotoxicologie**, une discipline qui intègre la toxicologie et l'écologie, et dont les objectifs sont de comprendre et de prédire les effets des contaminants chimiques sur les communautés naturelles.

Les polluants chimiques exercent dans certaines situations une **toxicité aiguë** et immédiate sur les individus exposés, qui peut conduire à une mortalité rapide. Mais les mécanismes de **toxicité chronique**, différée, liée à l'exposition sur le long terme des animaux à de faibles concentrations de polluants, sont majoritaires et préoccupants. Ces effets sur le long terme résultent également de la contamination des milieux par des substances toxiques persistantes, qui vont être transférées et accumulées dans les **réseaux trophiques**. Par exemple, la bioaccumulation de

53. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2019/05/nature-decline-unprecedented-report/>

certains polluants persistants dans les œufs a été une cause majeure du déclin des populations de rapaces [11].

Dans ce contexte, l'utilisation des **pesticides** par l'agriculture conventionnelle est pointée du doigt (Fig. 5.12). Ainsi, on estime que la **biomasse** d'insectes volants a chuté de 75% durant les 30 dernières années, et que le déclin des populations d'abeilles et d'oiseaux en Europe est essentiellement dû à l'utilisation des **pesticides**.



Figure 5.12: Polluants chimiques dans l'agriculture intensive. Creative commons 3.0, source : Lite-Trac.

Aux pollutions chimiques directes, nous pouvons ajouter celles, à la fois plus indirectes et plus « ordinaires », dues à l'usage intensif de matériaux issus de l'industrie chimique comme les matériaux plastiques en particulier. On estime que 24 à 35 millions de tonnes de déchets plastiques pénètrent chaque année dans le milieu aquatique⁵⁴. Les organismes vivants, en particulier les animaux marins, peuvent être impactés, soit par des effets mécaniques tels que l'enchevêtrement dans des objets en plastique et des problèmes liés à l'ingestion de déchets plastiques, soit par l'exposition à des produits chimiques contenus dans les plastiques qui interfèrent avec leur physiologie. Les effets sur les êtres humains comprennent la perturbation de divers mécanismes hormonaux. Toutefois, la présence de matériaux plastiques, comme leurs éventuels impacts sur les **écosystèmes** terrestres continentaux, sont encore peu étudiés, mais les travaux sont en augmentation régulière depuis les 5 dernières années [12]. Dans certaines régions, des efforts importants ont été déployés pour réduire l'importance de la pollution des plastiques en libre parcours, en réduisant la consommation de plastique, en nettoyant les déchets et en encourageant le recyclage des plastiques.

54. "Predicting the future of plastic pollution and why cleanup is part of the solution" [archive]: theoceancleanup.com (18 septembre 2020)

5.4.3. Conclusions

Les pollutions impactent les différents niveaux d'organisation biologique. Nous avons évoqué les impacts des pollutions sur l'orientation des individus et d'une façon générale sur leur comportement de déplacement, d'alimentation de reproduction. Mais les pollutions altèrent également le métabolisme et la physiologie des individus et plus généralement leurs performances, en exerçant de multiples effets toxiques, qu'ils soient immunodépresseurs, mutagènes ou que ce soient des perturbations endocriniennes. Ces effets, observés au niveau individuel, se répercutent en cascade sur les populations, leur abondance ou leur structure démographique et/ou génétique, puis sur la structure et le fonctionnement des communautés, en termes de diversité, de dominance et de productivité. En occasionnant des effets qui vont se propager sur ces différents niveaux d'organisation biologique, sur une ou plusieurs générations, les pollutions vont *in fine* impacter la **biodiversité**.

En conclusion, les pollutions sont multiples, et affectent l'ensemble des organismes vivants. S'il est relativement facile de mettre en relation des pollutions avec des atteintes à la **biodiversité**, il est souvent délicat de les expliciter *in natura* par des relations causales. Il est par ailleurs crucial de traiter la question complexe de l'exposition simultanée des organismes à plusieurs facteurs de stress (mélanges de produits toxiques, fragmentation de l'habitat, évolution de la ressource alimentaire, changement climatique, etc.), car elle représente de grands enjeux pour la recherche.

5.5. Espèces exotiques envahissantes – E. Bonnaud et C. Bellard

Les **espèces exotiques envahissantes** sont une menace majeure pour les **écosystèmes** à l'échelle mondiale. En effet, la présence de ces **espèces** entraîne des pertes de **biodiversité** et une modification des habitats et des interactions entre les **espèces** [13, 14].

5.5.1. Processus d'introduction d'une espèce exotique

Rappelons d'abord certaines définitions avant de décrire le processus qui conduit une **espèce exotique** à devenir envahissante [15] :

Une **espèce** est dite native (autochtone/indigène) quand, sur une période donnée, elle évolue dans son **aire de répartition** d'origine en y étant représentée par des populations qui s'y maintiennent. À l'inverse, une **espèce** est dite exotique (allochtone/exogène) lorsqu'elle est introduite dans une **aire de répartition** où elle était absente au début de la période considérée, et qu'elle la colonise par la suite.

Pour qu'une **espèce** puisse passer de son **aire de répartition** native vers une **aire de répartition** d'introduction, il faut un vecteur, c'est-à-dire un moyen de transport.

Nous nous focaliserons, dans ce qui suit, sur le vecteur humain et donc sur les **espèces** qui sont transportées par les humains ou par toute activité humaine (Fig. 5.13).

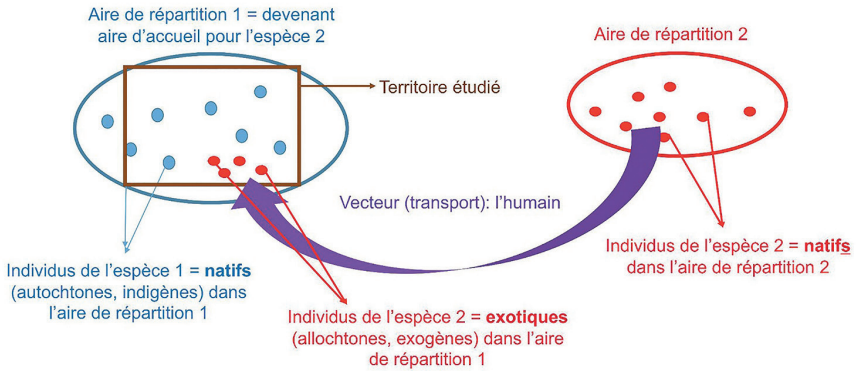


Figure 5.13: Introduction d'une **espèce exotique** sur un nouveau territoire.

Ainsi, dans une première phase, l'**espèce exotique** est introduite par les humains, de manière intentionnelle ou accidentelle, sur un territoire ou une partie de territoire où elle était jusqu'alors absente. Elle peut alors s'y établir (Fig. 5.14).

Après son établissement, l'**espèce** devient une **espèce naturalisée**, si elle rencontre des conditions écologiques favorables à son implantation durable sur le territoire d'accueil, notamment si elle s'y reproduit régulièrement et s'y maintient sur le long terme.

Si, par la suite, l'**espèce exotique** prolifère et étend son **aire de répartition** en entraînant des impacts écologiques, économiques et/ou sociaux, l'**espèce exotique** devient alors envahissante. On parle aussi d'une **espèce invasive**, qui est un anglicisme couramment accepté.

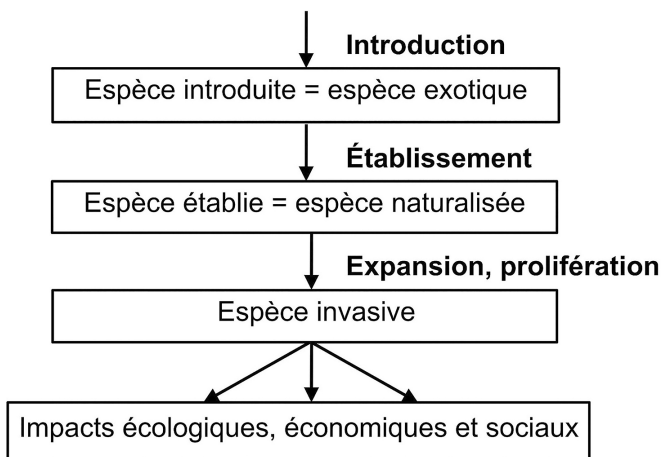


Figure 5.14: De l'espèce introduite à l'espèce invasive [16].

5.5.2. Conditions pour qu'une espèce exotique introduite devienne envahissante

De nombreuses espèces sont introduites, mais il est important de souligner qu'elles ne deviennent pas toutes envahissantes. Ce sont les **espèces** qui deviennent envahissantes, ou qui peuvent le devenir, qu'il faut particulièrement surveiller ou étudier pour que leur impact ne soit pas trop dévastateur dans l'**écosystème** d'accueil où elles ont été introduites [17].

La «réussite» d'une espèce introduite dans un nouvel **écosystème** reposerait sur le passage d'une série d'obstacles **biotiques** ou **abiotiques** que l'**espèce** doit franchir pour s'établir dans l'aire d'introduction (Fig. 5.15). Ces barrières sont aussi dépendantes de l'échelle spatiale, tant locale (disponibilité des ressources, interactions **biotiques**), paysagère (corridors, matrice favorable), que régionale (conditions topo-édapho-climatiques).

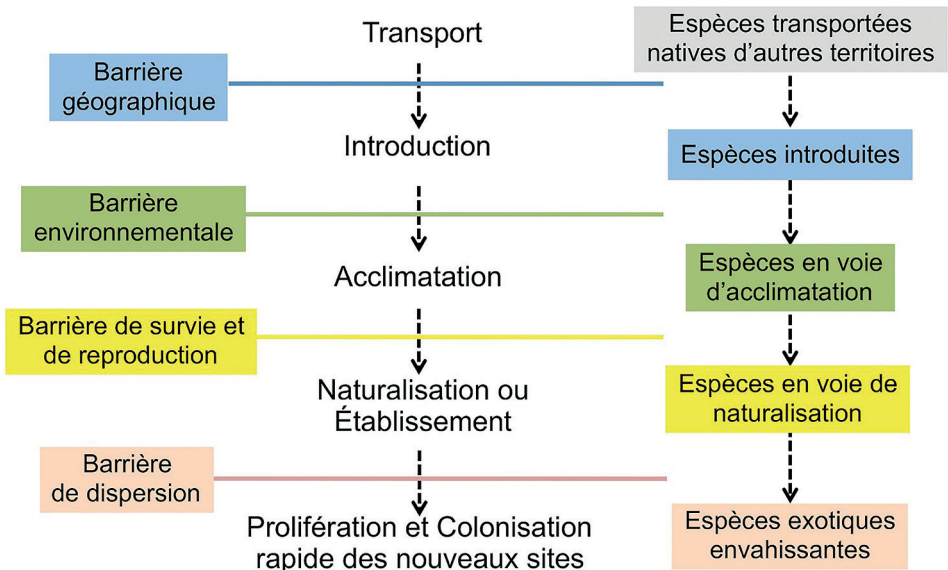


Figure 5.15 : Représentation schématique des barrières que doivent franchir les **espèces** importées pour devenir envahissantes sur le territoire d'introduction.

Le processus d'invasion peut être divisé en une série d'étapes et à chaque étape, il existe des barrières qui doivent être surmontées pour qu'une **espèce** ou une population passe à l'étape suivante.

En amont, la **barrière géographique**, par exemple, un océan ou une montagne, peut empêcher les **espèces** de traverser une nouvelle zone géographique pendant la phase de transport. Les humains sont cependant souvent « efficaces » pour aider les **espèces** à franchir cette barrière !

Durant la phase d'introduction accidentelle ou volontaire par les humains, il existe de nombreuses plantes et animaux en captivité et/ou en culture qui ne parviendront pas à traverser des éléments physiques tels qu'une clôture ou une haie, qu'on peut définir comme des barrières environnementales.

Pour les **espèces** qui réussissent à franchir ces barrières, elles doivent ensuite pouvoir survivre (barrière de survie) et se reproduire (barrière de reproduction) pour atteindre la phase dite d'établissement ou de naturalisation. En effet, les individus doivent trouver de bonnes conditions **abiotiques** (climat, habitats, etc.) et **biotiques** (absence de prédateurs et de parasites, avantage compétitif) pour pouvoir survivre et se reproduire, mais aussi établir des populations viables sur le long terme.

Pour que les individus d'une **espèce** ainsi naturalisée se propagent dans des endroits éloignés du point d'introduction et prolifèrent, il leur faut surmonter les obstacles qui entravent leur dispersion dans des nouvelles conditions environnementales. Une fois cet obstacle surmonté, les **espèces exotiques** peuvent effectivement proliférer.

La « portée » invasive est donc déterminée par les caractéristiques des environnements rencontrés, et les barrières fixent les limites de cette portée [17].

Plus le nombre d'individus est important et plus la fréquence des événements d'introduction est élevée, plus la pression des **propagules**, c'est-à-dire le produit du nombre d'individus, N , par la fréquence des événements d'introduction, f , est forte, et donc plus la probabilité d'établissement sera importante.

Par ailleurs, les populations de taille plus importante ont plus de chances d'échapper à l'extinction que peuvent entraîner, par exemple, des conditions météorologiques inhabituelles ou des fluctuations démographiques aléatoires en leur sein. Dans le cas d'une **stochasticité démographique** plus faible, les populations sont ainsi moins susceptibles d'être soumises à des dépressions de consanguinité, à des **goulots d'étranglement génétique**, à des phénomènes de **dérive génétique** et, chez certaines **espèces**, aux effets Allee (voir section 5.6), c'est-à-dire à une réduction de la survie et de la reproduction dès lors que la densité de population est faible.

5.5.3. Les invasions biologiques

Les invasions biologiques représentent un phénomène mondial qui se produit depuis des milliers d'années, mais ce phénomène a connu un essor au cours des derniers siècles.

Le nombre d'**espèces** introduites depuis 1800 est en effet en constante augmentation. L'essor des transports, de la mondialisation, du tourisme ont largement contribué à de nouvelles introductions d'**espèces exotiques** de par le monde. Ce taux était d'environ 7 espèces introduites chaque année entre 1500 et 1800, et il a

augmenté, depuis, pour atteindre un maximum de 585 en 1996. Seules les deux dernières guerres mondiales témoignent d'un ralentissement du nombre d'introductions. Ce taux ne montre pas de saturation ni de ralentissement sauf pour des groupes **taxonomiques** spécifiques comme les mammifères, qui montrent une décroissance depuis les années 50 en raison d'une législation beaucoup plus contraignante au niveau international [18].

Le phénomène d'invasion biologique, qui a lieu depuis longtemps, touche tous les pays. De nombreuses **espèces** ont été introduites pour la chasse, la culture ou des raisons esthétiques (ex : les plantes ornementales) ou même de manière accidentelle comme dans les cas des **espèces**, qui se sont échappées d'enclos, de transport au travers des eaux de ballasts des bateaux, etc. Ces phénomènes touchent l'ensemble des régions, mais plus particulièrement l'Europe, l'Amérique du Nord, l'Afrique du Sud, l'Australie et la Nouvelle-Zélande, qui ont développé des échanges commerciaux de grande ampleur durant les derniers siècles.

Les conséquences de ces introductions d'**espèces exotiques** pouvant devenir envahissantes sont multiples. Elles incluent la compétition avec les **espèces natives** pour les ressources, mais aussi la prédation sur les **espèces** autochtones, qui peut conduire à leur déclin jusqu'à parfois leur extinction totale [19, 20].

Les conséquences peuvent également être sanitaires comme l'introduction de certains moustiques exotiques, vecteurs de maladie (voir section 8.4.2), ou économiques comme la diminution des **rendements** de cultures causée par des parasites exotiques, ou encore génétiques dans le cas de d'hybridation entre **espèces natives** et **espèces** introduites dès lors que ces **espèces** sont proches génétiquement (voir section 4.1.2).

Enfin, les **espèces envahissantes** peuvent également conduire à des perturbations physiques des sols en changeant le système racinaire ou la composition des sols (voir section 2.6).

On estime aujourd'hui que les **espèces envahissantes** sont responsables à elles seules de 16 % des extinctions mondiales et bien plus encore lorsqu'elles sont associées à d'autres menaces [21].

5.5.4. L'exemple de la Perche du Nil

Nous allons illustrer par l'exemple de la **perche du Nil**, introduite dans le Lac Victoria, ce que sont les conséquences en cascade d'une **espèce** introduite, devenue envahissante (Fig. 5.16).

Le lac Victoria, situé en Afrique de l'Est, est le deuxième plus grand lac d'eau douce au monde. C'est une source majeure de protéines pour trois pays : l'Ouganda, le Kenya et la Tanzanie. Ce lac est de formation relativement jeune d'environ 1 000 ans.

La famille des poissons Cichlidae, qui sont de petits poissons aux couleurs très variées, s'est diversifiée par le phénomène dit de spéciation au sein de ce lac, en raison de la structure fragmentée qu'offrent des territoires pour ces petits poissons très territoriaux. Avant 1960, il existait environ 500 espèces de Cichlidés dans le lac. Ces poissons sont surtout des herbivores et ont donc peu de valeur nutritive pour la pêche humaine.

Pour augmenter les ressources en protéines, nutritives pour les humains, la *Perche du Nil*, qui est un gros poisson carnivore, a été introduite dans les années 1950. Il y a eu une lente progression de la Perche de 1960 à 1980 durant la phase d'installation, puis ses effectifs ont « explosé » durant la phase de prolifération. Dans les années 1980, il a été constaté la disparition de plus de 200 espèces de Cichlidés, du fait de leur prédation par la *Perche du Nil*. En effet, cette dernière s'était répandue dans la majeure partie du lac sauf dans quelques endroits les plus étroits.

À ces extinctions d'espèces consécutives à l'introduction de la Perche dans le lac Victoria, s'est ajouté l'abattage de nombreux arbres par les habitants de la région, car le bois s'est avéré nécessaire pour fumer le poisson qui n'était pas uniquement destiné à nourrir la population locale, mais aussi exporté dans les pays européens. L'abattage des arbres a tout d'abord entraîné une érosion accrue aux abords du lac, puis une augmentation des populations d'algues, favorisée par l'apport de matière organique et la moindre abondance des herbivores consécutive elle-même à la disparition des Cichlidés. Il en a résulté le comblement du lac et un phénomène d'eutrophication, autrement dit, une trop forte accumulation de matière organique renforçant le comblement du lac.

En 1990, 50 à 70% du volume du lac s'est avéré sans oxygène, soit anoxique toute l'année. Il s'est également produit une introduction accidentelle de la jacinthe d'eau qui, elle aussi, est une plante envahissante. L'étouffement du lac ainsi accru a entraîné en retour un déclin de la dynamique de population de la *Perche du Nil*, mais sans ré-augmentation des populations de Cichlidés, étant donné la dégradation écologique du lac.

L'instabilité politique de la région, le trafic et l'achat d'armes liés aux rentrées d'argent suite à la vente de perches du Nil aux pays européens, et la population humaine en forte augmentation ont accru encore le phénomène de raréfaction de ressources alimentaires dans la région du lac. Au bout du compte, la *Perche du Nil* n'a pas permis de nourrir les populations locales et a entraîné un désastre écologique (cf. le film « le cauchemar de Darwin »).

Le cas de l'introduction de la perche du Nil

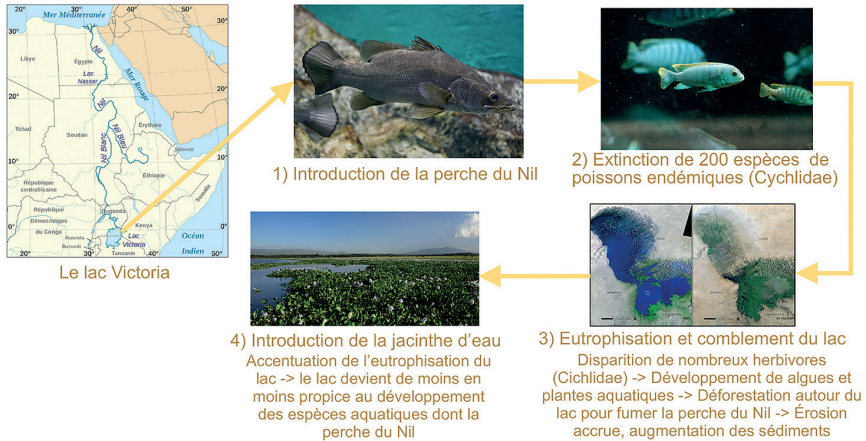


Figure 5.16: Processus ayant conduit au désastre écologique du lac Victoria par introduction de la perche du Nil. Sources : Lac Victoria (<https://www.populationdata.net/cartes/afrique-nil/>), Perche du Nil : Palais de la Porte Dorée – Aquarium tropical. Photo: Déodat Manchon (<https://www.aquarium-tropical.fr/especes/lat-es-niloticus/>), Lac Tchad: (<http://fr.wikipedia.org/wiki/tchad>): Wikipedia – Cychlidae : Photo istock – Jacinthes d'eau : (<https://www.afrik21.africa/kenya-moscou-finance-la-lutte-contre-la-jacinthe-deau-sur-le-lac-victoria/>, source : Jean-Marie Takouleu).

5.6. Dynamique des populations à faible effectif – E. Bonnaud et F. Courchamp

Selon la liste rouge de l'**UICN** (Union internationale pour la conservation de la nature), les **espèces** rares sont souvent considérées comme menacées, car une population de petite taille a moins de chances de survivre à des catastrophes écologiques. Plus précisément, les **espèces** sont dites « rares », lorsqu'elles vérifient au moins l'une des deux caractéristiques suivantes :

- elles ont des faibles effectifs ;
- leur **aire de répartition** est relativement restreinte.

Si une **espèce rare** est généralement endémique, le terme « endémique » fait exclusivement référence à l'habitat de l'**espèce**, qui peut-être ou très localisé ou très spécifique. De ce fait, une **espèce endémique** n'est pas forcément une **espèce rare**, car elle peut être abondante, même si son habitat est très localisé [22-24].

5.6.1. Conditions conduisant à la rareté d'une espèce

Il existe plusieurs facteurs à l'origine de la rareté d'une **espèce** (Fig. 5.17) :

- Il s'agit d'une **espèce** jeune et à un stade évolutif. Les processus, qui ont conduit à son émergence, sont encore relativement récents et, de ce fait, elle n'a pas encore étendu son **aire de répartition**. À l'opposé, il peut s'agir

d'une **espèce** apparue depuis très longtemps et dont l'habitat s'est fortement restreint au cours du temps;

- Les populations de l'**espèce** ont une faible variabilité génétique, ce qui entrave leurs capacités d'adaptation pour coloniser d'autres milieux dès lors que les conditions environnementales de leur milieu se dégradent.

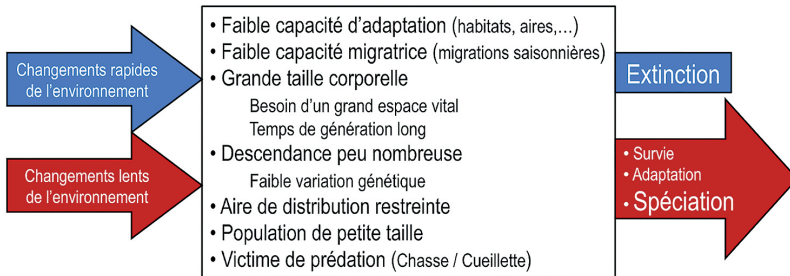


Figure 5.17 : Facteurs à l'origine de la rareté d'une **espèce** et ses conséquences.

5.6.2. Difficultés rencontrées par une espèce rare

Selon le type de rareté (**espèce** évolutivement « jeune », pool génique réduit, faible compétition ou dispersion), les individus des populations d'une **espèce rare** peuvent être confrontés à un manque de partenaires pour la reproduction d'autant plus important que les effectifs sont faibles. Ceci peut entraîner un phénomène de consanguinité, une perte de variabilité génétique et aussi une moindre capacité à s'adapter aux conditions changeantes. Comme les populations des **espèces** rares sont, par définition, à effectif limité, les individus constituant cette population peuvent être également désavantagés vis-à-vis des phénomènes de prédation, de compétition ou de parasitisme [25, 26]. Tous les mécanismes évoqués peuvent conduire à leur extinction dans une « spirale ou **vortex** d'extinction » (Fig. 5.18).

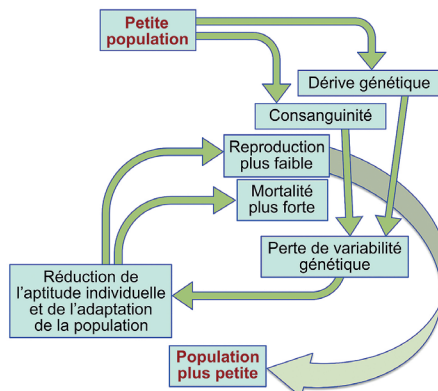


Figure 5.18 : Spirale ou **vortex** d'extinction concernant les populations de faibles effectifs.

5.6.3. Croissance de populations à « densité-dépendance négative »

On parle de **densité-dépendance** quand l'effectif de la population au temps « t » varie en fonction de l'effectif de la population au temps « t-1 ». À l'échelle de la population, le taux de croissance augmente avec la densité de population, car il y a de plus en plus d'individus au fur et à mesure que cette densité augmente (Fig. 5.19, gauche). À l'échelle individuelle (Fig. 5.19, droite), on observe un phénomène de **densité-dépendance** négative lorsque les paramètres démographiques, survie et fécondité, diminuent au fur et à mesure que la densité de la population augmente. Autrement dit, dans ce cas, plus il y a d'individus dans la population, moins chaque individu va pouvoir se reproduire efficacement.

Prenons un exemple fictif. Si nous avons au départ une population de 10 individus avec une capacité moyenne de reproduction de 2,5 jeunes par femelle, lorsque cette population atteindra 100 individus, la capacité moyenne de reproduction par femelle pourrait se réduire à 2 jeunes.

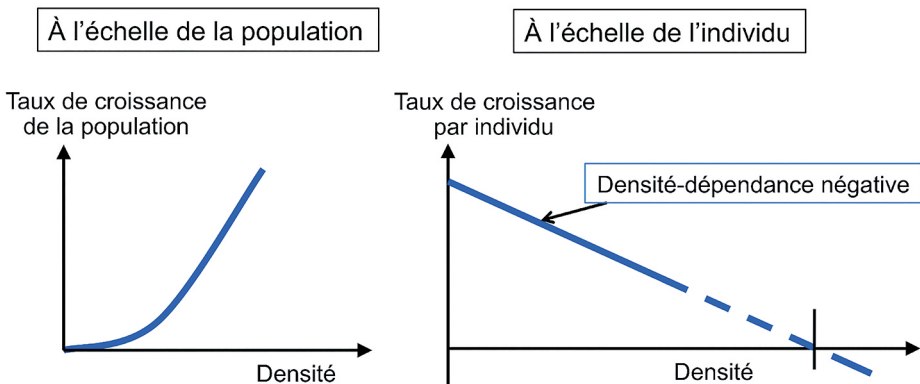


Figure 5.19: La **densité-dépendance** négative. À gauche : le taux de croissance pour l'ensemble de la population. À droite : le taux de croissance par individu en fonction de la densité de la population.

5.6.4. Croissance de populations à « densité-dépendance positive »

Dans le cas d'une **densité-dépendance** positive, on montre qu'à l'échelle de la population, si la densité d'individus est trop petite, les individus ne sont pas assez nombreux pour assurer la reproduction, la survie et la protection, qui permettent le maintien de la population (Fig. 5.20, à gauche). C'est l'effet « Allee », du nom du zoologiste américain M. Allee qui l'a décrit dès 1949 pour certaines **espèces** [27]. À l'inverse, si la densité de départ est au-delà du seuil minimal de maintien, plus la population devient nombreuse, plus la reproduction et la survie seront facilitées,

plus il y aura de brassage de gènes favorisant le développement de la population et moins il y aura de **dérive génétique** avec le risque de perte de **diversité génétique**.

À l'échelle de l'individu, ce phénomène de **densité-dépendance** positive se traduit par le fait que les paramètres démographiques (survie et fécondité) augmentent avec la densité de la population. Ainsi, si nous avons au départ une population de 5 individus avec une capacité moyenne de reproduction de 2 jeunes par femelle, quand l'effectif atteindra 20 individus, chaque femelle pourrait donner naissance à 2,5 jeunes en moyenne. Le taux de reproduction est d'autant plus fort qu'il y a plus d'individus dans la population.

On note néanmoins qu'à un certain niveau de densité, le taux de croissance par individu (en rouge **figure 5.20**, à droite) s'infléchit et rejoint alors la courbe du taux de croissance, qui a été obtenue dans le cas de **densité-dépendance** négative (en bleu dans la **figure 5.20**, à droite).

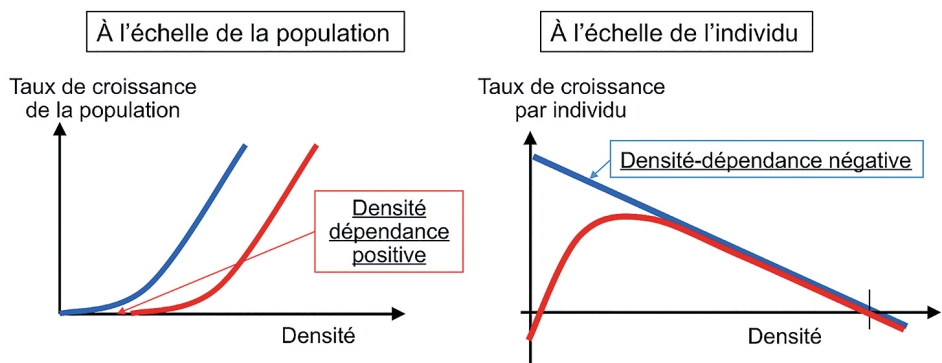


Figure 5.20: La **densité-dépendance** positive (courbes en rouge). À gauche: le taux de croissance pour l'ensemble de la population. À droite: le taux de croissance par individu en fonction de la densité de la population.

5.6.5. Exemples d'espèces chez lesquelles a été observé l'effet Allee

L'**Effet Allee** s'observe chez des **espèces** qui gèrent en groupe leur reproduction, la chasse et la protection contre les prédateurs. Les explications de l'**effet Allee** sont donc de nature biologique. Nous allons l'illustrer à l'aide de deux exemples très différents: les suricates et les morues.

Les suricates (*Suricata suricatta*), encore appelés sentinelles du désert, sont des mammifères diurnes de la famille des mangoustes, qui se nourrissent sur de longues périodes de la journée (**Fig. 5.21**).



Figure 5.21 : Suricates (*Suricata suricatta*), mangoustes namibiennes. Creative commons 2.0, source : Sara&Joachim&Mebe.

Leur métabolisme est, en effet, élevé, alors que leur nourriture consiste uniquement en de petits invertébrés faiblement énergétiques. Pendant qu'ils s'alimentent, les suricates tendent donc à être des proies faciles pour des prédateurs éventuels. En fait, ils limitent les risques de prédation grâce à un comportement, qu'on peut qualifier de coopératif. En présence des prédateurs, chaque membre du groupe à tour de rôle arrête, en effet, de s'alimenter pour assurer la surveillance du groupe vis-à-vis des prédateurs et prévenir ses congénères d'un danger éminent. Bien évidemment, quand le groupe devient trop petit, les individus ne peuvent plus arrêter de se nourrir à chaque fois que leur tour de sentinelle arrive, et le risque existe que le groupe continue à s'alimenter sans qu'un de ses membres ne soit suffisamment vigilant vis-à-vis des prédateurs. On assiste alors à une mortalité plus élevée pour ce petit groupe avec, en particulier, une diminution de la survie des adultes. Cela étant, les suricates coopèrent aussi pour élever les jeunes, ce qui favorise la survie juvénile, ainsi que pour chasser des proies plus grosses, ce qui favorise la survie des adultes [27].

Autre exemple, les morues vivent également en groupe et exercent le même type de vigilance vis-à-vis de prédateurs. Leur efficacité à se protéger augmente à mesure que le groupe grandit et leur reproduction est également facilitée par le regroupement des individus. On a pu observer un [effet Allee](#) dans le cas de la morue de l'Atlantique soumise à une surpêche. Le taux moyen de reproduction par individu s'est en effet réduit dès lors que la taille de la population est arrivée à un niveau très bas, ce qui a entraîné l'effondrement de la population de morues. Cette découverte empirique (par l'observation) confirme le fait qu'un [effet Allee](#) peut jouer un rôle

considérable dans la dynamique des populations d'**espèces rares** ou qui se sont raréfiées, que ce soit par des causes naturelles ou humaines. En deçà d'un certain seuil de densité, les populations peuvent, en effet, entrer dans une spirale d'extinction.

5.6.6. Surexploitation et effet Allee Anthropogénique

Il est important de bien différencier le phénomène de **surexploitation** des ressources et un **effet Allee** particulier, l'**effet Allee Anthropogénique**. La **surexploitation** se manifeste dès que l'on prélève plus que ce qui est produit par unité de temps (voir section 5.2). Dès que le prélèvement ne permet plus le renouvellement du stock d'individus, ceci entraîne une décroissance de la dynamique de population plus ou moins forte selon l'intensité du prélèvement. Cette décroissance peut conduire l'**espèce** considérée à devenir rare, voire à disparaître.

On parle d'**effet Allee Anthropogénique** lorsqu'une **espèce** est rare et qu'elle devient alors rentable pour les humains. De ce fait, elle est de plus en plus recherchée, de plus en plus exploitée, et devient donc encore plus rare, etc. Dans le cas d'un effet « Allee Anthropogénique », ce sont donc les humains qui par leur action de **surexploitation** entraînent un **effet Allee** [28].

Quand il y a **surexploitation**, il n'y a pas forcément d'**effet Allee Anthropogénique**. Par exemple, il peut y avoir épuisement d'une population de poissons, mais le prix de vente restant fixe, cette pêche ne devient plus rentable. Les pêcheurs vont alors se tourner vers une autre ressource de pêche dans le cas où il y a une possibilité de substitut. On observe donc un transfert des forces d'exploitation. Dans ce cas précis, il y a un phénomène de **surexploitation** au départ, mais par la suite, s'il y a arrêt de l'exploitation, les populations peuvent croître à nouveau et avoir une dynamique positive. Cependant, la relance de la dynamique peut ne pas être sans conséquence sur la structure génétique de la population en se traduisant, par exemple, par une perte de variabilité génétique. En effet, si ce sont plutôt des individus de grande taille qui ont été pêchés, on va alors assister à une reproduction entre des individus de plus petite taille et un phénomène de sélection va tendre à diminuer la taille moyenne de l'**espèce**. Ce phénomène peut se poursuivre même après la fin de la **surexploitation**. On peut, par ailleurs, assister à un autre phénomène, à savoir le changement de l'**aire de répartition** de l'**espèce**. L'occurrence de ce phénomène dépend de la durée, pendant laquelle l'**espèce** a été exploitée, de son pouvoir de colonisation ainsi que des différentes interactions qui ont pu se recréer dans son environnement.

Quand il n'y a pas de possibilité de substitut à l'**espèce rare**, c'est-à-dire quand aucune autre **espèce** ne peut être exploitée à sa place, la probabilité augmente pour l'**espèce rare** de subir un **effet Allee Anthropogénique**. Enfin, même s'il existe un substitut, le processus de **surexploitation** peut à nouveau se produire pour le substitut lui-même dès lors que le changement d'exploitation ne s'est pas fait de manière raisonnée.

5.7. Les mécanismes d'homogénéisation en cours – F. Chiron

Le processus d'uniformisation du vivant à l'échelle de la planète, appelé aussi phénomène d'**homogénéisation biotique**, conduit les **écosystèmes** à se ressembler de plus en plus au cours du temps, du point de vue de leur composition ou de leur fonctionnement. Nous pouvons faire le parallèle avec d'autres formes d'homogénéisation ayant lieu dans les sociétés humaines, qui sont de nature culturelle, sociale ou économique. Par ailleurs, il existe bien un lien entre la standardisation de nos modes de vie et l'**homogénéisation biotique** avec des conséquences sur les **écosystèmes**.

5.7.1. Origine et définitions

Le concept d'**homogénéisation biotique** a émergé en 1999 en même temps que celui des invasions biologiques, c'est-à-dire l'introduction par les humains de nouvelles **espèces** dans les **écosystèmes** (voir section 5.5). L'introduction des **espèces** envahissantes à travers le monde à des fins ornementales, alimentaires ou sans le vouloir, a en effet tendance à homogénéiser les communautés locales. C'est ce que l'on nomme l'**homogénéisation taxonomique**. Cette manière de définir l'**homogénéisation biotique** mène cependant à des confusions d'interprétation. En effet, l'homogénéisation peut être alors vue comme un gain de ces mêmes **espèces** ou à la perte des **espèces** locales, ou alors à la conjonction de ces deux phénomènes (Fig. 5.22).

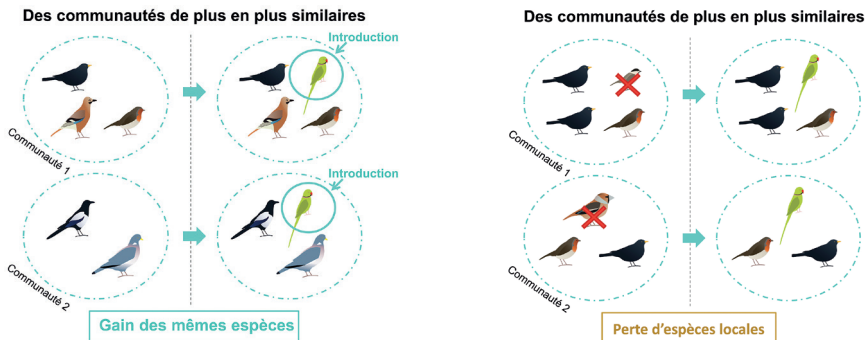


Figure 5.22 : Le phénomène d'**homogénéisation biotique** : des communautés de plus en plus similaires par gain de mêmes **espèces** (en haut) et/ou par perte d'**espèce** locales (en bas) (Source : François Chiron).

Comme le concept d'**espèces** n'est pas forcément judicieux pour certains groupes **taxonomiques** (voir section 4.1.2), il est nécessaire de définir l'**homogénéisation biotique** autrement.

L'**homogénéisation biotique** peut être **génétique**, voire phylogénétique, compte tenu d'une plus grande similarité de gènes et d'allèles entre individus issus de populations différentes.

L'homogénéisation peut aussi être **fonctionnelle**, c'est-à-dire définie comme l'uniformisation des caractéristiques morphologique, écologique, physiologique des **espèces** sans considérer leur identité **taxonomique** (Fig. 5.23). Ces caractéristiques, ou traits, sont impliqué(e)s dans le recyclage de la matière organique, la croissance des plantes, les régulations biologiques entre **espèces**, etc. Elles sont à la base du fonctionnement des **écosystèmes** et du phénomène de résilience. Notons que les conséquences de l'**homogénéisation taxonomique** sur l'**homogénéisation fonctionnelle** sont encore mal connues.

Des communautés fonctionnelles de plus en plus similaires

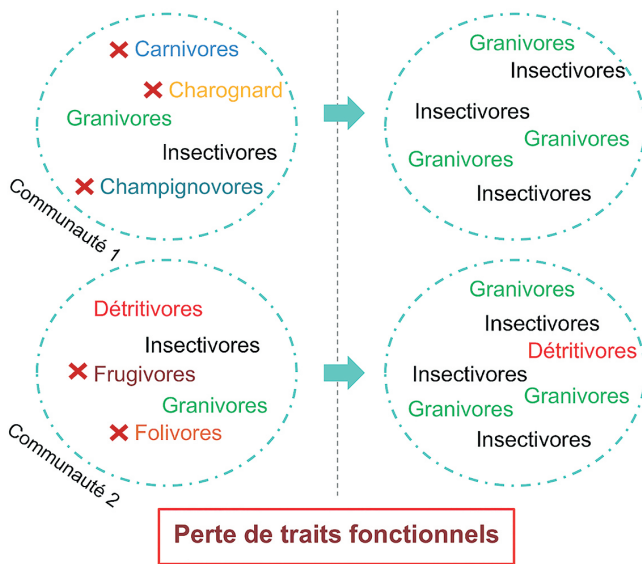


Figure 5.23: Le phénomène d'**homogénéisation biotique**: des communautés fonctionnelles de plus en plus similaires (Crédit : François Chiron)

À quelle échelle a lieu l'**homogénéisation biotique**? Localement, un jardin en ville, par exemple, peut accueillir un nombre important d'**espèces**, mais celles-ci sont souvent les mêmes d'un jardin à un autre et d'une ville à une autre, donc peu variées dans l'ensemble. En revanche, des pelouses sèches dans des régions biogéographiques variées accueilleront des **espèces** différentes, rendant ces milieux uniques et plus riches globalement.

L'**homogénéisation biotique** ne peut être mise en évidence que par l'observation de la faune et de la flore à l'échelle d'un pays, d'un continent, voire de la **biosphère**, et des différences de **biodiversité** entre ces espaces à l'échelle macroscopique. Ce travail fastidieux bénéficie aujourd'hui du développement des **sciences participatives** sur la **biodiversité** et de ses milliers de participants qui contribuent à cet effort d'observation (voir section 5.8).

5.7.2. Causes, mécanismes et conséquences

Les causes de l'**homogénéisation biotique** sont, avant tout, les changements globaux liés aux activités humaines. De façon directe ou indirecte, les changements climatiques, l'urbanisation, l'intensification agricole et, dans certains cas particuliers, les introductions d'**espèces** transforment et modifient considérablement la surface, le type et la qualité des **écosystèmes**, perturbant les populations et rendant leurs conditions de vie très similaires. Par exemple, en zone urbanisée, les habitats des différentes **espèces**, qui sont définis par les conditions climatiques, la teneur en matière organique dans le sol et d'autres éléments biogéochimiques, ont tendance à s'homogénéiser en raison de l'uniformisation des modèles de conception des villes. La gestion des réseaux de transports, des zones résidentielles et commerciales, voire des espaces verts, est souvent identique. Cette convergence des formes urbaines à l'échelle d'un continent gomme les particularités écologiques de chaque ville et réduit mécaniquement le nombre total de niches écologiques pour des **espèces** différentes. Il en résulte qu'en ville on observe une **homogénéisation taxonomique**, phylogénétique et fonctionnelle pour les plantes, les oiseaux, les mammifères, les reptiles, les amphibiens et dans une moindre mesure, chez les invertébrés.

L'étude d'une variété de groupes a montré que l'**homogénéisation biotique** en réponse aux changements globaux se caractérise par la perte d'**espèces** spécialisées à un type d'habitat et le gain d'**espèces** dites généralistes, plus flexibles dans leur choix de ressources et dont les capacités cognitives, parfois étonnantes, leur permettent de s'adapter aux nombreux changements [29]. L'évolution de l'indicateur de spécialisation à l'habitat traduit ce phénomène pour les oiseaux. Depuis au moins 30 ans, le nombre d'oiseaux spécialistes diminue en France, alors que les généralistes se maintiennent, voire se multiplient (Fig. 5.24).

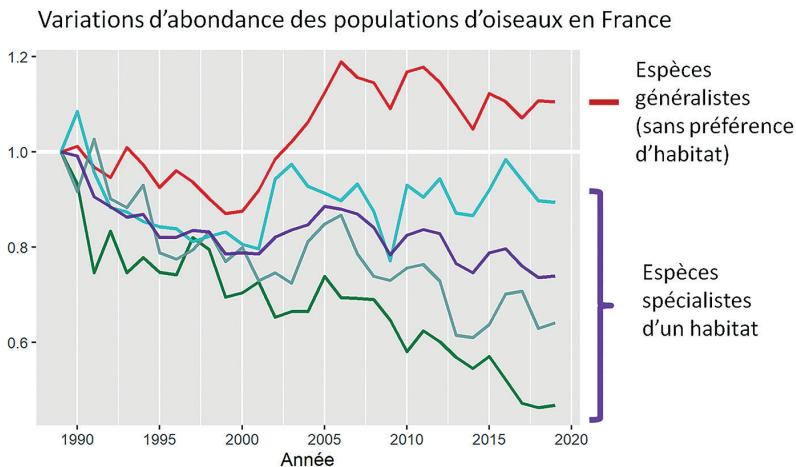


Figure 5.24 : Variation d'abondance des populations d'oiseaux en France : plus d'**espèces** généralistes au détriment des **espèces** spécialistes (adapté de Fontaine *et al.*, 2020 [30]).

Trois mécanismes différents peuvent aboutir au remplacement des **espèces** spécialistes par des **espèces** généralistes. Tout d'abord, la destruction d'habitat entraîne mécaniquement la disparition des **espèces** spécialisées à celui-ci. D'autre part, les **espèces** généralistes plus flexibles et plus innovantes, possèdent aussi une plus grande capacité à coloniser de nouvelles niches écologiques. Face au réchauffement climatique, par exemple, les **espèces** tendent à déplacer leur **aire de répartition** pour suivre les isoclines de température. Les populations d'**espèces** généralistes sont capables de réagir plus rapidement, car elles tolèrent les modifications d'occupation des sols, qui représentent autant de freins aux populations des **espèces** spécialistes pour remonter vers le nord.

Enfin, indirectement, les changements globaux, en modifiant la qualité des habitats, modifient les interactions entre **espèces**. Par exemple, le changement climatique dans les forêts du nord de l'Europe augmente la compétition entre les oiseaux généralistes et les oiseaux spécialistes pour l'accès aux ressources. Ainsi, lors d'un printemps précoce, le gobemouche noir (*Ficedula hypoleuca*), un spécialiste migrateur (Fig. 5.25, gauche), ne peut pas anticiper sur ses quartiers d'hivernage l'éclosion prématurée des chenilles dont il nourrit ses jeunes, et ce à la différence de la mésange charbonnière (*Parus major*), une **espèce** généraliste et sédentaire, qui se nourrit de la même ressource (Fig. 5.25, droite). De plus, lors d'hivers doux, les meilleures capacités de survie des mésanges charbonnières accentuent encore leur compétition avec les gobemouches, moins agressifs dans la recherche de cavités de reproduction.



Figure 5.25 : Gobemouche noir (à gauche, source : Estormiz, license CC0 1.0) et Mésange charbonnière (à droite, source : Francis Franklin, license CC BY-SA 4.0).

Ce type d'interactions, qui conduit au remplacement des spécialistes par les généralistes, reste néanmoins peu documenté dans la plupart des cas. D'autre part, il faut noter que dans des environnements naturels fortement dégradés comme en ville, les **espèces** tolérantes aux perturbations constituent la très grande majorité de la **biodiversité**. Ces **espèces** représentent une forme de « compensation » à la perte des spécialistes dans ces environnements qui seraient, sinon, bien pauvres en **biodiversité**.

La perte d'abondance, notamment de spécialistes, n'est pas l'unique conséquence de l'**homogénéisation biotique**. Nous avons vu (section 4.3) qu'il existait une

dynamique positive entre la diversité biologique et le fonctionnement des **écosystèmes**. Cette dynamique résulte de la complémentarité des **espèces** entre elles à un niveau local; en augmentant la **diversité spécifique**, on augmente le nombre de fonctions réalisées par ces **espèces**. À un niveau régional, la singularité de chaque communauté entraîne une variabilité des réponses aux perturbations, stabilisant ainsi globalement tout le système. Que va-t-il alors advenir si les **espèces** spécialistes, qui assurent cette complémentarité et cette stabilité, disparaissent de l'**écosystème** et que les mêmes généralistes se retrouvent dans chaque communauté **biotique**? Quelles seront les conséquences sur le fonctionnement de l'**écosystème** et sa capacité à faire face à de nouvelles perturbations? Quelles seront les conséquences pour les humains? Ces questions font encore l'objet de nombreuses recherches en cours.

Comment répondre face à ce phénomène d'**homogénéisation biotique**? Nous avons évoqué à différentes reprises que la destruction et la modification des habitats par les activités humaines étaient les principales causes de l'**homogénéisation biotique** [31]. La première solution est donc d'arrêter la destruction et la modification des **écosystèmes**, même si cela ne fera que limiter la perte de **biodiversité** sans forcément inverser la tendance. Une autre solution est de rendre les conditions de vie plus hétérogènes pour le vivant. Lors de nouveaux aménagements de territoires, des mesures de gestion doivent ainsi être prises pour préserver les originalités écologiques locales sans répéter les mêmes solutions partout. Ce qui est bénéfique en un lieu donné peut, en effet, se révéler inefficace, voire néfaste, dans un autre environnement. Enfin, il nous faut compter sur la libre évolution des **écosystèmes**, une forme de « gestion inactive » trop peu pratiquée, mais un formidable moteur à la résilience et à la diversification du vivant sur le long terme (voir section 11.1).

Références

- [1] H. Liu, P. Gong, J. Wang, N. Clinton, Y. Bai, S. Lian. 2020. Annual dynamics of global land cover and its long-term changes from 1982 to 2015. *Earth Syst. Sci. Data* **12**, 1217-1243, © Author(s) 2020.
- [2] N.C. Davidson. 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and récent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research* **65**(10), 934-941. <https://doi.org/10.1071/MF14173>.
- [3] F. Berkes, T.P. Hughes, R.S. Steneck, J.A. Wilson, D.R. Bellwood, B. Crona, C. Folke, L.H. Gunderson, H.M. Österblom, M. Scheffer, B. Worm. 2006. Globalization, roving bandits, and marine resources. *Science* **311**(5767), 1557-1558. DOI: 10.1126/science.1122804.
- [4] R. Hilborn, O. Amoroso, C.M. Anderson, J.K. Baum, T.A. Branch, C. Costello, C.L. de Moor, A. Faraj, D. Hively, O.P. Jensen, H. Kurota, L.R. Little, P. Mace, T. McClanahan, M.C. Melnychuk, C. Minto, G.C. Osio, A.M. Parma, M. Pons, S. Segurado, C.S. Szuwalski, J.R. Wilson, Y. Ye. 2020. Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *PNAS* **117**(4), 2218-2224, <https://doi.org/10.1073/pnas.190972611>.

- [5] T.W. Crowther, et al. 2015. Chiffres de prélèvement d'arbres par an [Mapping tree density at a global scale]. *Nature* **525**, 201-205.
- [6] A. Cheaib, et al. 2012. Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters* **15**(6): 533-544.
- [7] T. Longcore, C. Rich. 2004. Ecological light pollution. *Front Ecol Environ* **2**(4), 191-198.
- [8] Hölker, et al. 2010. Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology and Evolution* **25**(12), 682-682.
- [9] C.A. Hallmann, R.P.B. Foppen, C.A.M. van Turnhout, H. de Kroon, E. Jongejans. 2014. Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature* **511**, 341-343.
- [10] T. Gunstone, T. Cornelisse, K. Klein, A. Dubey, N. Donley 2021. **Pesticides** and soil invertebrates: A hazard assessment. *Front. Environ. Sci.*
- [11] R. Carson 1962. *Silent Spring*. London, Penguin Classic, (édition originale)
- [12] C. Mougín, I. Lamy, L. Ciadamidaro, S. Houot, J. Gasperi, R. Driss, B. Tassin. 2020. *Les plastiques dans les sols: quels niveaux de contaminations et quels impacts écotoxicologiques? Dans Les sols urbains sont-ils cultivables?* Mougín C., Douay F., Canavese M., Lebeau T., Rémy E. (Éditeurs), Collection Matière à débattre et décider, Editions Quae, Versailles, chapitre 10, pp.182-192, ISBN 978-2-7592-3202-4
- [13] E. Branquart, G. Fried. 2016. **Espèces envahissantes** d'ici et d'ailleurs: Synthèse sur les **espèces envahissantes** et présentation de 32 **espèces**. Éditions du Gerfaut.
- [14] T.M. Blackburn, C. Bellard, A. Ricciardi. 2019. Alien versus native species as drivers of recent extinctions. *Frontiers in Ecology and the Environment* **17**, 203-207.
- [15] E. Rémy, C. Beck. 2008. Allochtone, autochtone, invasif: catégorisations animales et perception d'autrui. *Politix* **2**, 193-209.
- [16] Goudard A. 2007. *Fonctionnement des écosystèmes et invasions biologiques. Importance de la biodiversité et des interactions interspécifiques*, Thèse, 216 p.
- [17] D. Simberloff. 2013. *Invasive species: What everyone needs to know*. Oxford University Press, Oxford, 346 p.
- [18] H. Seebens, T.M. Blackburn, E.E. Dyer, P. Genovesi, P.E. Hulme, J.M. Jeschke, S. Pagad, P. Pyšek, M. Winter, M. Arianoutsou, S. Bacher, B. Blasius, G. Brundu, C. Capinha, L. Celesti-Grappo, W. Dawson, S. Dullinger, N. Fuentes, H. Jäger, J. Kartesz, M. Kenis, H. Kreft, I. Kühn, B. Lenzner, A. Liebhold, A. Mosena, D. Moser, M. Nishino, D. Pearman, J. Pergl, W. Rabitsch, J. Rojas-Sandoval, A. Roques, S. Rorke, S. Rossinelli, H. E. Roy, R. Scalera, S. Schindler, K. Štajerová, B. Tokarska-Guzik, M. Van Kleunen, K. Walker, P. Weigelt, T. Yamanaka, F. Essl. 2017. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications* **8**, 1-9.
- [19] C. Bellard, P. Cassey, T.M. Blackburn. 2016. Bellard, Cassey, Blackburn - 2016 - Biology letters - Alien species as a driver of recent extinctions. *Biology Letters* **12**, 24-27.

- [20] F. Courchamp, A. Fournier, C. Bellard, C. Bertelsmeier, E. Bonnaud, J.M. Jeschke, J.C. Russell. 2017. Invasion biology: Specific problems and possible solutions. *Trends in Ecology and Evolution* **32**, 13-22.
- [21] IUCN. 2021. *100 of the World's Worst Invasive Alien Species*. Global Invasive Species Database, International Union for Conservation Nature, Invasive Species Specialist Group. <http://www.iucngisd.org/gisd/search.php>.
- [22] M.G. Raphael, R. Molina. 2007. *Conservation of rare or little-known species*. Page (M.G. Raphael, R. Molina, Eds.). Island Pre.
- [23] S. Lavergne. 2013. *Les espèces végétales rares ont-elles des caractéristiques écologiques et biologiques qui leur sont propres? Application à la conservation de la flore en Languedoc-Roussillon 8078*.
- [24] D. Mouillot, D.R. Bellwood, C. Baraloto, J. Chave, R. Galzin, M. Harmelin-Vivien, M. Kulbicki, S. Lavergne, S. Lavorel, N. Mouquet, C.E.T. Paine, J. Renaud, W. Thuiller. 2013. Rare species support vulnerable functions in high-diversity ecosystems. *PLoS Biology* **11**, e1001569.
- [25] I. Olivieri, R. Vitalis. 2001. La biologie des extinctions. *Médecine Science* **17**, 63-69.
- [26] A. Robert. 2011. Petites populations et vortex d'extinction. Page Regard R9 du 10/01/11.
- [27] F. Courchamp, L. Berec, J. Gascoigne. 2008. *Allee effects in ecology and conservation*. Oxford University Press, New York.
- [28] E. Angulo, A.L. Deves, M. Saint Jalmes, F. Courchamp. 2009. Fatal attraction: Rare species in the spotlight. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **276**, 1331-1337.
- [29] J. Clavel, R. Julliard, V. Devictor, 2011. Worldwide decline of specialist species: toward a global functional homogenization? *Frontiers in Ecology and the Environment* **9**(4), 222-228.
- [30] B. Fontaine, C. Moussy, J. Chiffard Carricaburu, J. Dupuis, E. Corolleur, L. Schmaltz, R. Lorrillière, G. Lois, C. Gaudard 2020. *Suivi des oiseaux communs en France 1989-2019: 30 ans de suivis participatifs*. MNHN- Centre d'Écologie et des Sciences de la Conservation, LPO BirdLife France - Service Connaissance, Ministère de la Transition écologique et solidaire, 46 p.
- [31] IPBES. 2019. *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. S. Díaz, J. Settele, E.S. Brondízio E.S., H.T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K.A. Brauman, S.H.M. Butchart, K.M.A. Chan, L.A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S.M. Subramanian, G.F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y.J. Shin, I.J. Visseren-Hamakers, K.J. Willis, C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 p.