



HAL
open science

La puissance de la biodiversité

Philippe Grandcolas

► **To cite this version:**

Philippe Grandcolas. La puissance de la biodiversité. CNRS éditions, pp.205, 2023, Biblis, 978-2-271-14912-1. hal-04269406

HAL Id: hal-04269406

<https://hal.science/hal-04269406v1>

Submitted on 9 Nov 2023

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 4.0 International License

La puissance de la biodiversité

Philippe Grandcolas

Préambule

Notre monde fait face à deux crises majeures aujourd'hui bien connues de tous, le dérèglement climatique et la perte de biodiversité. Et pourtant nos sociétés ne se mobilisent guère pour répondre aux enjeux de ces crises alors même que nous commençons à en souffrir terriblement au quotidien, à travers des événements climatiques extrêmes ou des maladies émergentes dont les fréquences respectives vont croissantes.

Pourquoi un tel manque de mobilisation ? Est-ce uniquement à cause du pouvoir démesuré de quelques gouvernements populistes ou de puissants lobbys commerciaux ou industriels à courtes vues ? Bien sûr, l'aveuglement de certains cercles de pouvoirs influe fortement sur la situation environnementale mondiale mais il n'est même pas nécessaire d'imaginer de complots de cette sorte pour expliquer l'immobilisme général. Les travaux des environnementalistes montrent que nous tardons à nous mobiliser pour des raisons identiques, que nous soyons gouvernants, cadres dirigeants ou simples citoyens¹. Nous n'aimons pas que l'on nous reproche notre comportement, que l'on critique notre état d'esprit ou nos habitudes surtout lorsqu'elles sont liées à notre culture ou à notre mode de vie. Nous sommes aussi bravaches ou attentistes face à des menaces apparemment lointaines et distantes brandies par des scientifiques ou des lanceurs d'alerte. Ces mêmes personnes qui reconnaissent l'ampleur du problème trouvent souvent de bonnes raisons pour s'accorder encore un petit plaisir immédiat au coût environnemental désastreux. Nul besoin d'être un chef de gouvernement populiste pour renoncer à prendre immédiatement la mesure de ces crises environnementales, la

¹ Stoknes P.E. (2015). *What we think about when we try not to think about global warming: Toward a new psychology of climate action*. Chelsea Green Publishing.

Marshal, G. (2017). *Le Syndrome de l'autruche: Pourquoi notre cerveau est programmé pour ignorer le changement climatique*. Éditions Actes Sud.

somme de nombreux petits aveuglements quotidiens suffit, quelque soient les personnes concernées, dirigeants ou citoyens.

Au delà de notre naïveté psychologique, n'y a-t-il pas une raison encore plus générale à notre relative indifférence face à nos problèmes d'environnement, et en particulier face aux problèmes liés à la biodiversité ? Le problème climatique, même s'il n'est pas réglé loin de là, est au moins pris au sérieux. On ne plaisante pas avec la météo, une tempête, des inondations ou une canicule, car nous en percevons tous l'énorme puissance dévastatrice qui va croissante, avec l'augmentation des événements climatiques extrêmes². Mais le déclin des petites bêtes, des oiseaux ou des plantes, est-ce vraiment un problème surtout si l'on considère que beaucoup d'entre eux nous causent des soucis et ne sont pas toujours désirés ?³ Autant il nous paraît vain de vouloir lutter contre une tempête ou un raz de marée, autant nous revendiquons notre puissance technologique, fut-elle destructrice, lorsqu'il s'agit de raser une forêt pour prétendre nourrir le monde, ou d'épandre trop abondamment des substances toxiques pour tuer à coup sûr les ennemis de nos cultures. En vérité, nous en sommes même fiers.

Le raison sous-jacente à notre rejet de la crise de la biodiversité, à notre attentisme, ou à notre indifférence est que nous ne percevons pas correctement la biodiversité. Nous ne comprenons pas sa nature, son ampleur colossale ni sa force implacable, tout autant que celles d'une tempête ou d'un raz de marée. Autant construire une maison en zone inondable nous paraît aujourd'hui une folie, autant déforester ou épandre un pesticide restent pour nous des actions souvent légitimes. Nous ne pouvons pas prendre la juste mesure d'un problème concernant un univers entier d'organismes vivants que nous ne percevons même pas ou dont nous ne comprenons pas les caractéristiques. Tous les mots comptent ici, il s'agit bien à la fois de mauvaise perception et de mauvaise compréhension. Nos sens et notre esprit sont tous deux en cause !

² Beniston M. & Stephenson D.B. (2004). Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global and Planetary Change*, 44, 1-9.

³ Legagneux P. et al. (2018). Our House Is Burning: Discrepancy in Climate Change vs. Biodiversity Coverage in the Media as Compared to Scientific Literature. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 175.

Ce livre est donc écrit dans le but de nous éveiller, pour nous surprendre et nous faire prendre conscience de la puissance de la diversité du vivant, ignorée ou incomprise. Pour ceux qui doutent de l'importance de la biodiversité, une pandémie mondiale est-elle un argument suffisant, avec plusieurs millions de morts humains et de terribles conséquences sociales et économiques ? Ou alors notre ignorance et notre dissonance nous donnent-elles envie de lui attribuer d'autres causes que la déforestation et le trafic d'animaux, comme je l'ai entendu au printemps dernier de la bouche péremptoire d'un journaliste chroniqueur aux enquêtes pourtant habituellement affutées ?

Introduction

Aujourd'hui, nous rions volontiers des croyances archaïques et anthropocentriques qui mettaient la terre au centre du système solaire : nous faisons ainsi l'éloge de Gallilée le précurseur, confronté aux théologiens obscurantistes. Mais trois siècles plus tard, nous avons encore du mal à ne pas mettre l'espèce humaine au centre du fonctionnement du globe terrestre, en nous mettant à part du vivant⁵. Certes, la population humaine compte aujourd'hui très peu de géocentristes ou de platistes, mais encore plus d'une bonne moitié de créationnistes refusant l'évidence de l'évolution biologique !

De nombreuses cultures ont déifié l'espèce humaine pendant des siècles et c'est seulement depuis 150 ans que la théorie de l'évolution nous a largement réintégré au sein du vivant. Les humains deviennent vertébrés, mammifères et primates, non plus pour nous positionner dans une classification de convenance, mais pour nous considérer comme simple produit de l'évolution. Nos voisins dans les classifications des premiers naturalistes deviennent des parents. Ces nouvelles conceptions provoqueront longtemps des réactions offusquées chez les tenants d'une histoire religieuse littérale de l'espèce humaine. Même chez les scientifiques, les mauvaises habitudes ont la vie dure : les premiers évolutionnistes reconnaissent que l'espèce humaine est issue de l'évolution, mais ils la placent trop souvent encore à part, culminant au sommet du vivant⁶ ! Encore aujourd'hui, nous adorons les récits préhistoriens d'évolution et apprenons avec fascination la vie des premiers humains disparus, Lucy, Toumai et les autres, pendant que nous laissons périr atrocement nos cousins survivants, chimpanzés et gorilles. Les Chimpanzés concevant des médicaments ou les gorilles adoptant le langage des signes seraient-ils animaux indignes tandis que seuls les humains mériteraient de vivre ?⁷

⁵ Freud, S. (1917). *Une difficulté de la psychanalyse*. Œuvres complètes, Volume XV.

⁶ Cette conception archaïque du vivant est nommée le gradisme, rangeant les organismes dans des séries prétendument évolutives, allant en apparence du plus simple au plus compliqué.

⁷ De Waal, F. (1995). *Le bon singe : Les bases naturelles de la morale*. Bayard Editions.

Mais pour autant, avons nous la capacité à nous considérer comme faisant partie à part entière du vivant dans nos sociétés contemporaines ? Cette question n'est pas seulement un sujet de dissertation philosophique. C'est aussi la question peut-être la plus importante que l'espèce humaine ait jamais eu à considérer lors de son histoire¹¹. Nos sociétés glorifient nos extraordinaires progrès scientifiques et techniques qui nous permettraient de maîtriser tous les problèmes qui se présentent à nous, qu'il s'agisse de satisfaire nos besoins croissants en énergie ou de guérir les pathologies qui nous affligent. Par contre, nos sociétés ne célèbrent presque jamais notre capacité – à vrai dire fort peu développée – à vivre en harmonie avec l'environnement et le vivant. Et nous continuons ainsi à susciter les crises du climat et de la biodiversité. Certes nous pouvons nous vanter de posséder connaissances et moyens techniques pour les maîtriser mais allons nous les utiliser ?

Les huit milliards d'humains peuplant la terre la marquent de leur empreinte avec une puissance et une intensité jamais atteintes¹². Ne pas comprendre que nous sommes parties du vivant, que nous en dépendons chaque jour pour notre environnement, notre alimentation et notre santé nous met terriblement en danger. Il ne s'agit pas seulement d'accepter que nous sommes un primate issu de l'évolution, mais de comprendre toutes les dimensions de la diversité biologique, de ne pas lutter contre lorsqu'elle nous sert, et de la laisser vivre comme un formidable réservoir de solutions ou comme une source de bonheur lorsqu'elle nous est apparemment inutile.

Encore faut-il que nous la percevions pour ce qu'elle est réellement. Il nous faudra d'abord comprendre comment nous la nommons : les mots pour la dire nous montrent comment nous la pensons. Il nous faudra ensuite perdre un peu de notre superbe, en constatant notre ignorance encore immense et si révélatrice de notre arrogance à son égard. Puis nous devons accepter de voir ses multiples dimensions auxquels nous sommes quotidiennement aveugles. Nous devons comprendre aussi pourquoi nous la faisons disparaître à un rythme effréné en nous privant de ses services pourtant

¹¹ Morizot, B. (2020). *Manières d'être vivant: enquêtes sur la vie à travers nous*. Éditions Actes Sud.

¹² Ripple W.J., Wolf C., Newsome T.M., Barnard P. & Moomaw W.R. (2020). World scientists' warning of a climate emergency. *BioScience*, 70, 8-12.

indispensables à notre survie. Et enfin, pour finir sur une note plus optimiste, il apparaîtra qu'il est possible de sauver la planète et que cela peut même être agréable, et plus encore si nous en partageons les avantages entre tous.

Les mots pour la dire : Nature, vivant, biodiversité

Se représenter un ensemble aussi vaste et complexe que la diversité du vivant avec ses millions d'espèces, leurs innombrables caractéristiques et leurs interactions mutuelles est une sorte de défi en matière de sémantique et de communication. En outre, les cultures humaines n'ont pas toujours considéré cette question de la même manière, loin de là¹³. Des vocables différents se sont succédés au fil du temps, souvent avec des significations sensiblement différentes ou changeantes. Ces mots qui nous servent à communiquer aujourd'hui peuvent ainsi véhiculer malgré nous des manières désuètes ou erronées de percevoir la réalité de notre monde. Que voulons nous dire et quelle pensée s'installe dans notre esprit quand nous parlons de nature, du vivant ou de la biodiversité ?

La « nature » est un terme familier ; utilisé dans des circonstances très diverses, il est toujours très commenté, y compris au plan philosophique¹⁴. Et pourtant, il reste passablement confus avec de nombreuses significations différentes ; il a été souvent contesté tant il peut être artificiel ou trompeur, avec des conceptions très différentes selon les cultures humaines¹⁵. A ce jour, la « nature » rassemble pêle-mêle vivant, minéral et environnement physique. Par exemple, dire que l'on va se promener dans la « nature » signifie que l'on intègre mentalement un paysage avec sa végétation et ses animaux au cours de son itinéraire. Bien souvent, le terme « nature » personnifie cet ensemble de manière fallacieuse – mère nature ou dame nature – , comme dans une forme de pensée magique. On a ainsi pu lire ou entendre que la nature se vengeait avec la covid-19 ; rien de plus trompeur, il n'y a pas de volonté à l'œuvre et personnifier ainsi la nature nous met au danger de lui prêter des intentions, là où il n'y a que l'effet de nos mauvais traitements aux écosystèmes que nous devrions identifier et faire cesser. Le

¹³ Limido-Heulot, P. (2014). *Une Histoire philosophique de la nature*. Editions Apogée.

¹⁴ Ducarme F. & Couvet D. (2020). What does 'nature' mean? *Palgrave Communications*, 6, 14.

Lacroix, A. (2018). *Devant la beauté de la nature*. Allary.

¹⁵ Descola, P. *Par-delà nature et culture*. Paris : Gallimard, 2005.

terme « nature » implique également l'idée d'un état originel vierge d'influence humaine ; ne dit-on pas revenir à la « nature » ou ne parle-t-on pas du « naturel » pour désigner ce qui n'aurait pas été perverti ? La conception sous-jacente à la nature est passablement romantique, chacun y mettant une vision idéalisée et caricaturée de la nature dite originelle¹⁶. Cela peut être le paradis perdu, une nature merveilleuse, belle et bienfaitrice, source de plaisirs et qui comble nos besoins si elle n'est pas trop altérée par l'espèce humaine. C'est la nature des naturalistes, celle qui fait cruellement défaut dans les grandes villes, alors qu'elle est source d'équilibre psychologique et de bien être et aide à lutter contre les îlots de chaleur¹⁷ ; il s'agit à l'extrême de la nature du sophisme naturaliste dénoncé par Gerald Moore au début du XX^e siècle, un principe fallacieux selon lequel tout ce qui est naturel serait bon¹⁸. Mais cette nature présumée vierge dans ses plus beaux atours peut être aussi l'enfer vert, un grouillement d'organismes se dévorant les uns les autres sans vergogne et en perpétuelle compétition, une nature admirable mais dans laquelle il ne ferait pas bon vivre, théâtralisée par ses colonisateurs occidentaux, grands amateurs de conversion des milieux¹⁹. La dure loi de la nature, en somme, souvent intégrée dans les caricatures de la théorie de l'évolution biologique et du darwinisme (*The struggle for life* de Charles Darwin²⁰). Chez certains médecins et décideurs, elle est de fait synonyme de problèmes et de nuisances contre lesquelles il faudrait au contraire se prémunir²¹. Dans cette dernière conception, se rapprocher de la nature crée des risques car elle est potentiellement dangereuse. Confronter ces deux conceptions mythifiées – paradis perdu ou enfer vert – est particulièrement révélateur. Cela ne revient pas seulement à comparer des caricatures dont aucune n'est complètement pertinente, c'est aussi prendre conscience qu'il n'existe pas de lois simples et universelles dans notre rapport à l'environnement. Ainsi, créer un parc urbain de plus à Paris avec quelques plantes et animaux de la région ne semble

¹⁶ <https://www.terrestres.org/2021/01/13/endosser-lombre-strie-des-feuillages/>

¹⁷ « La biodiversité en ville n'est pas le problème mais une des solutions »

https://www.lemonde.fr/idees/article/2020/04/14/la-biodiversite-en-ville-n-est-pas-le-probleme-mais-une-des-solutions_6036575_3232.html

¹⁸ « the naturalistic fallacy » de Moore, G.E. 1922. *Principia Ethica*. Cambridge at the University Press.

¹⁹ Blanc, G. (2020). *L'invention du colonialisme vert*. Flammarion, Paris.

²⁰ Darwin (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. John Murray, London.

²¹ Coronavirus : « Les nouvelles configurations urbaines portent en germe des déflagrations écologiques à haut potentiel de viralité » https://www.lemonde.fr/idees/article/2020/04/08/urbanisme-mettre-la-nature-en-ville-est-une-promise-dangereuse_6035989_3232.html

présenter que des avantages. Par contre, multiplier les jardins avec certaines plantes ornementales locales en Floride augmente l'abondance de moustiques vecteurs de maladie²². La nature ne se résume pas à une équation de surface par habitant mais elle est un système complexe dans lequel toutes ses composantes jouent un rôle. Plaider pour ou contre la « nature » n'est donc pas suffisant, elle n'est pas singulière comme ce vocable pourrait le laisser entendre mais plurielle.

Dans tous les cas, le terme de « nature » a le grand inconvénient d'exclure les humains dont on sait qu'ils n'ont nulle place au paradis - il a été perdu ! - ni dans l'enfer vert - il est invivable !²³ La nature sans l'humain est ainsi au centre des approches romantiques occidentales sacralisant la nature sauvage avec le concept de « wilderness » ou de « naturalité »²⁴. Et pourtant, il serait bien difficile aujourd'hui de ne pas trouver un lieu sur terre où l'espèce humaine n'a pas eu une influence significative durant ces derniers siècles, y compris au fin fond de l'Amazonie où la forêt a été façonnée par des siècles de cultures sur brûlis²⁵.

Moins chargé d'émotion mais tout aussi significatif, « vivant » est un autre terme également souvent employé durant le XX^{ème} siècle. Au sens littéral, ce terme englobe tout ce qui vit – y compris les humains – et le désigne comme une communauté de propriétés plutôt que de se focaliser sur les différences entre organismes. Les sciences du même nom, les dites « sciences du vivant » (« Life Sciences » en anglais) ont dominé la biologie de ces dernières décennies et ont apporté quantité de connaissances nouvelles extraordinaires grâce à l'étude de quelques organismes au laboratoire. Ces derniers sont appelés « organismes modèles », parce qu'ils sont censés représenter – au point d'être modèles – l'ensemble du vivant, et permettre de comprendre les lois qui seraient générales et communes à l'ensemble des organismes. C'est ainsi que l'on a aujourd'hui d'énormes connaissances sur l'hérédité, le fonctionnement des cellules et des organismes, connaissances souvent extrapolées à l'espèce humaine et notamment

²² Wilke A.B.B., Chase C., Vasquez C., Carvajal A., Medina J., Petrie W.D. & Beier J.C. (2019). Urbanization creates diverse aquatic habitats for immature mosquitoes in urban areas. *Scientific Reports*, 9, 15335.

²³ Morizot, B. (2020). *Manières d'être vivant: enquêtes sur la vie à travers nous*. Éditions Actes Sud.

²⁴ Maris, V. *La part sauvage du monde*. Le Seuil, Paris.

²⁵ Bush M.B. et al. (2016). A 6900-year history of landscape modification by humans in lowland Amazonia. *Quaternary Science Reviews*, 141, 52-64.

utilisées en médecine²⁶. On peut considérer arbitrairement comme organismes modèles ceux dont le génome est aujourd'hui entièrement connu et annoté. Cette connaissance génomique encore difficile à acquérir jusqu'à une époque récente, est à la fois la preuve de l'intérêt de la science pour cette espèce car c'est à la fois un gros effort de recherche et un outil exceptionnel pour mener des recherches. A peu près un millier d'espèces sont ainsi connues, incluant par exemple la drosophile (mouche du vinaigre) « représentant » les Insectes, l'arabette des prés (une petite plante de la famille des Crucifères) « représentant » les plantes, le zebra fish ou la souris pour les vertébrés, et bien d'autres encore. Mille espèces modèles seulement parmi plus de 2 millions d'espèces connues par la science, c'est à la fois beaucoup et très peu : beaucoup pour comprendre en profondeur les mécanismes généraux du vivant et les transposer à l'espèce humaine, et trop peu pour gérer l'environnement et vivre en harmonie avec la nature. Les sciences du vivant ont ouvert de tels champs d'étude avec leurs changements d'échelle, cellulaire puis moléculaire, qu'elles sont au risque de s'égarer dans l'infinie complexité de ces univers, en perdant de vue que chaque organisme est différent, qu'il est issu d'une évolution dont l'étude demande comparaison avec des apparentés et qu'il interagit avec des milliers d'autres dans son environnement. Quel besoin sinon y aurait-il à comparer les espèces, quand une seule cellule d'un organisme de laboratoire recèle un univers entier avec plus de 40 millions de protéines de 5000 sortes différentes, et des dizaines de milliers de gènes ?²⁷

C'est sans doute pourquoi le terme « biodiversité » est né dans les années 80, comme une contraction de « diversité biologique »²⁸. Parmi les termes existant précédemment, « nature » est par trop imprécis ou mythifié et « vivant » fait l'impasse sur la diversité. Or cette diversité a une importance fondamentale comme on le verra par la suite. Malgré leurs caractéristiques communes, les organismes différents tous les uns des autres par bien des aspects ; ils interagissent de manière complexe au sein des écosystèmes au sein

²⁶ Il faut souligner une autre difficulté à propos de la notion de vivant : définir ce qu'est le vivant, à la différence de l'inerte. Les études philosophiques ou biologiques se succèdent pour énumérer ses caractéristiques supposées : évolution, reproduction, etc., qui excluent parfois maladroitement les virus, simples parasites de cellules hôtes.

²⁷ Ho B., Baryshnikova A. & Brown G.W. (2018). Unification of Protein Abundance Datasets Yields a Quantitative *Saccharomyces cerevisiae* Proteome. *Cell Systems*, 6, 192-205.

²⁸ Wilson E.O. (ed.) (1988). *Biodiversity*. National Academies Press, Washington.

desquels ils ne sont pas substituables. En tant qu'espèce humaine, nous nous nourrissons d'espèces différentes (5 fruits et légumes par jour !) chacune vivant avec ses centaines d'auxiliaires et d'antagonistes souvent spécifiques. Nous luttons contre des espèces différentes de pathogènes, chacune avec leurs caractéristiques qu'il nous est indispensable de connaître : le paludisme est ainsi causé par un Protozoaire *Plasmodium*, tandis que le covid-19 l'est par un *Coronavirus*, organismes dont les biologies n'ont pas grand chose de commun et conditionnent les thérapeutiques ou les politiques vaccinales. De nombreux scientifiques s'en sont rendu compte et ont donc proposé un concept – la biodiversité - qui réconcilie la généralité du vivant – « bio » – , ce qui est commun à toutes les espèces, et la diversité du vivant – « diversité » –, ce qui est particulier seulement à une ou quelques espèces.

Le mot biodiversité a fait florès et il est même devenu militant. De fait, ce mot des années 80 évoque dans nos esprits plus souvent baleines, papillons colorés, coccinelles, grands arbres et fleurs somptueuses. Il inclut pourtant tous les organismes, y compris ceux auxquels nous pensons moins spontanément : des espèces domestiquées (un champ de maïs, un champignon *Penicilium* du fromage), des espèces qui nous répugnent (cafards, rats) des pathogènes (bactéries, protozoaires), des espèces qui nous effraient (serpents, araignées), des espèces éteintes (fossiles) ... et nous, les humains ! Consacré par la convention internationale sur la diversité biologique rassemblant plus de 100 états dans le monde, le terme biodiversité a acquis une valeur juridique et sa définition a été stabilisée dès 1992 : « Variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes. » Le seul inconvénient de cette définition est de faire l'impasse sur la notion d'évolution comme si la biodiversité était figée et ne pouvait changer. Ou encore comme si son origine évolutive n'était pas un sujet d'importance et qu'il nous importe juste de la conserver et d'assurer de son fonctionnement à notre bénéfice. Or, on le verra, non seulement la biodiversité est issue de l'évolution mais encore évolue-t-elle encore en permanence ; c'est même sa caractéristique la plus intime (cf. *Et pourtant elle évolue*).

La Terre, une planète encore inconnue

Plaider pour une meilleure perception de la biodiversité pourrait laisser croire qu'elle est bien connue par les scientifiques et qu'elle ne demande qu'un peu plus de considération de la part de la société civile. Il n'en est rien ! Nos connaissances sur la biodiversité sont ridiculement limitées. En termes d'espèces, la science ne connaît même pas un quart de la biodiversité, à peine plus de 20% au mieux d'un nombre total évalué de manière statistique. Et encore ne s'agit-il là que d'une connaissance bien grossière en ce qui concerne la plupart de ces espèces, le plus souvent limitée à la description originelle lors de sa découverte. Décrire une espèce nouvelle pour la science en mentionnant quelques traits de son anatomie, son lieu de capture et au mieux un tout petit bout d'un marqueur ADN ne permet évidemment pas de bien connaître un organisme et d'appréhender son rôle écologique ou son intérêt pour les humains ; c'est tout juste un préalable indispensable à la connaissance, absolument nécessaire mais pas suffisant !

Deux siècles d'explorations naturalistes ont ainsi permis de décrire environ 2,2 millions d'espèces²⁹. Et toutes les projections statistiques en laissent deviner au moins cinq fois plus, soit 10 millions. Certaines projections intégrant des hypothèses d'énorme diversité microbienne ou parasitaire vont même bien au delà, jusqu'à 100 millions d'espèces³⁰. Comment peut-on évaluer cette part inconnue de la biodiversité qui reste à découvrir ? Des modèles mathématiques simples ont été construits avec les nombres d'espèces découvertes année après année et ont montré que la tendance des découvertes n'est pas du tout à la stabilisation mais que de nombreux travaux sont nécessaires pour décrire toute la biodiversité encore inconnue³¹. Chaque année, toutes les campagnes d'exploration ou les travaux en routine des biologistes confirment cette tendance de

²⁹ Roskov Y. et al. 2014. *Species 2000 and ITIS Catalogue of Life*, 29 October 2014. Leiden (The Netherlands) ; <http://www.catalogueoflife.org/col>.

³⁰ Larsen, B. B., Miller, E. C., Rhodes, M. K., & Wiens, J. J. (2017). Inordinate fondness multiplied and redistributed: the number of species on earth and the new pie of life. *The Quarterly Review of Biology*, 92(3), 229-265.

³¹ Tancoigne, E., & Dubois, A. (2013). Taxonomy: no decline, but inertia. *Cladistics*, 29(5), 567-570.

manière empirique. Dans la seule France métropolitaine et en faisant abstraction des richesses extraordinaires des tropiques françaises, il existe plus de 40000 espèces d'Insectes. Chaque année apporte son tribut d'espèces nouvelles dans ce groupe gigantesque. La campagne océanographique Tara a sillonné les mers du globe et a ainsi découvert 90000 espèces nouvelles d'organismes planctoniques³². Mettre un pied en forêt tropicale laisse voir d'innombrables insectes dont la plupart sont inconnus pour la Science. J'ai eu la chance inouïe d'effectuer mon premier travail de terrain tropical en pleine forêt de la Guyane Française à la fin des années 80. J'étudiais alors des Insectes nocturnes dans des sous-bois des forêts guyanaises quasiment intouchés depuis plusieurs siècles. Ces lieux extraordinaires grouillaient de vie et chaque séance d'observation nocturne avant le froid et la rosée du petit matin permettait d'observer des dizaines d'espèces dont les plus abondantes n'avaient jamais été répertoriées, alors qu'elles grouillaient sous mes pieds dans les feuilles mortes ou dans la végétation. Ces espèces peu attirées par les pièges divers et variés utilisés par les entomologistes d'antan étaient toutes nouvelles pour la science et la nécessité de les répertorier avant de pouvoir publier l'étude de leur écologie et de leur évolution a même constitué l'une des difficultés de mes travaux de doctorat. Une telle expérience aide à comprendre pourquoi nous ne connaissons que 20% du vivant : trop peu de scientifiques pour des nombres d'espèces colossaux et que l'on ne peut bien souvent approcher ou étudier que de manière spécialisée. Chacune de ces espèces recélant des comportements, des fonctions et des adaptations fascinantes qu'il serait important de connaître à bien des égards. Un travail réalisé quelques années après, avec mon collègue Pierre Deleporte, nous a permis de montrer que ces insectes banals, méconnus et abondants étaient tout simplement ceux qui contribuaient le plus aux premières étapes de la décomposition de la litière de feuilles mortes au sol en forêt Amazonienne. De petites bêtes inconnues dont le rôle est indispensable et conditionnement la vie des grands arbres et des animaux de la forêt !

Cette partie inconnue de la biodiversité n'est pas pour autant restreinte à de petites bêtes nichées au fond des forêts tropicales ou des profondeurs marines inexplorées. Une espèce récemment décrite de la France, la taupe d'Aquitaine, témoigne de la

³² de Vargas C. et al. (2015). Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. *Science*, 348, 1261605.

méconnaissance incroyable d'une biodiversité de bonne taille, pas très discrète et très proche de nous. Des membres de mon laboratoire spécialistes des mammifères ont été intrigués par les particularités morphologiques des taupes du sud ouest de la France et de l'Espagne³³. Après étude, il s'est avéré que ces taupes différaient par de nombreuses caractéristiques de l'espèce européenne présente sur le reste du territoire français ; l'étude de leur génome a même montré que les deux lignées s'étaient séparées il y a au moins 2,4 millions d'années ! Ainsi, même un mammifère, une taupe éliminée à longueur de décennies par d'innombrables jardiniers mécontents de ses taupinières s'est révélée inconnue pour la science, en France métropolitaine.

Pourquoi une telle part d'inconnu dans la diversité du vivant au XXIème siècle malgré nos moyens techniques et nos facilités matérielles ? Comment se fait-il que nous n'ayons pas encore finalisé le grand inventaire du vivant sur le globe terrestre³⁴ ? Commencé au XVIIIème siècle avec un peu de méthode par Karl Von Linné, un naturaliste suédois³⁵, cet inventaire a d'abord fortement progressé puis s'est ralenti à mesure que les sciences du vivant se sont tournées vers l'étude des grandes lois du vivant, communes à tous les organismes, hérédité et génétique, biologie cellulaire, etc. Autant de champs fascinants et d'énormes connaissances nouvelles qui ont relégué en arrière plan la poursuite de l'inventaire du vivant, trop souvent perçu comme une déjà bien longue liste à la Prévert, peut-être poétique mais apparemment de moindre intérêt immédiat. De nos jours, les systématiciens et taxonomistes décrivant les espèces et les organisant dans des classifications sont seulement quelques milliers dans le monde, à peine plus que le nombre de scientifiques du vivant se focalisant sur la biologie moléculaire d'un seul organisme-modèle omniprésent au laboratoire, comme par exemple une mouche drosophile. Le *Annual Drosophila Research Conference*, le plus grand congrès de ce type mais pas le seul, occasionne ainsi plus de 1000 présentations scientifiques à chacune de

³³ Nicolas V., Martínez-Vargas J. & Hugot J.-P. (2017). Molecular data and ecological niche modelling reveal the evolutionary history of the common and Iberian moles (Talpidae) in Europe. *Zoologica Scripta*, 46, 12-26.

³⁴ Grandcolas, P., Garrouste, R. & Robillard, T. (2020). Pourquoi ne connaît-on que 20 % du vivant ? *The Conversation* <https://theconversation.com/pourquoi-ne-connaît-on-que-20-du-vivant-149493>

³⁵ Linnaeus, C. (1758) *Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Editio decima, reformata. Tomus 1*. Holmiae (Laurentii Salvii): [i-iv] + 1-824.

ses éditions, presque autant à lui seul que la plupart des congrès de taxonomie sur l'ensemble du vivant dans le monde entier.

Le moment serait donc venu de réconcilier ces deux biologies, la systématique ralentie par son archaïsme passé et décrivant la diversité du vivant, et la biologie générale étudiant les organismes modèles. Toutes les espèces vivantes, qu'elles soient des modèles au laboratoire ou de nombreuses exceptions étudiées dans le milieu naturel, ont bien toutes évolué à d'un même ancêtre commun. La réconciliation des connaissances acquises sur les unes et les autres, connaissance intime des mécanismes moléculaires chez les modèles et la diversité de leurs expressions dans les innombrables espèces existantes, est la plus grande richesse et le plus grand espoir de la biologie contemporaine³⁶.

Cela dit, ne pouvons-nous pas nous satisfaire des connaissances déjà acquises sur les 20% répertoriés ? Pourquoi essayer de décrire les 80% restants de la biodiversité ? La taupe d'Aquitaine ou l'insecte nouveau amazonien, exceptions à la règle des organismes modèles de laboratoire, auront-ils un intérêt pour nos sociétés, même à moyen terme ? La réponse est que nous devons faire ce pari si nous en croyons le bilan des découvertes incessantes de ces dernières années !

Empiriquement, on constate ainsi que des organismes inconnus en apparence des plus insignifiants se sont révélés par la suite avoir une importance cruciale pour les sociétés humaines. C'est le cas par exemple d'algues marines planctoniques tellement microscopiques qu'elles étaient passées complètement inaperçues jusqu'à une date récente³⁷. Ces algues sont probablement parmi les organismes les plus abondants à la surface du globe, conditionnant par leur métabolisme bien des cycles naturels. Depuis, grâce à la génomique environnementale, un procédé d'analyse de l'ADN extrait globalement d'un échantillon d'eau ou de sédiment, d'autres micro-organismes de ce type – méconnus et potentiellement très influents – ont aussi été découverts³⁸. Comment

³⁶ Jesus, C. coord. (2017). *Étonnant vivant. Découvertes et promesses du XXI^e siècle*. Editions du CNRS, Paris.

³⁷ Not, F. et al. (2007). Picobiliphytes: a marine picoplanktonic algal group with unknown affinities to other eukaryotes. *Science*, 315(5809), 253-255.

³⁸ Lannes R., Cavaud L., Lopez P. & Baptiste E. (2020). Marine ultra-small prokaryotes likely affect the cycling of Carbon, Methane, Nitrogen and Sulfur. *Genome Biology and Evolution*.

pouvons nous espérer prévoir comment l'environnement mondial évolue ou réagit à notre influence si nous oublions de tels organismes ? Un exemple plus proche de nous est bien douloureux, avec les Coronavirus responsables des maladies respiratoires. Les virus se comptent par centaines de millions sur terre et certains comme ceux-ci nous causent bien des soucis. Leur étude pourtant primordiale se poursuit à une lenteur désespérante, faute de moyens récurrents. C'est le cas des Coronavirus trouvés notamment dans des chauve-souris, groupe de virus auxquels appartiennent SARS-CoV et SARS-CoV-2³⁹. Le peu de connaissances acquises par quelques équipes dans le monde a permis d'avancer rapidement à l'émergence de chaque épidémie récente, qu'il s'agisse du SRAS, du MERS ou de la Covid-19. Et encore aujourd'hui, nous avons bien du mal à retracer l'origine de la maladie et ses hôtes primaires et secondaires, tant les mammifères d'Asie du Sud Est et leur virus sont mal connus⁴⁰. Une même histoire s'était produite avec le virus HIV responsable du SIDA : si des équipes n'avaient pas étudiés d'obscurs rétrovirus considérés comme peu importants à ce moment, aucun progrès rapide n'aurait été possible dans la découverte et le traitement de cette maladie⁴¹. Plus encore, nous savons maintenant que cette maladie a circulé à bas bruit en Afrique depuis le début du XXème siècle, montrant ainsi combien l'étude de l'évolution des agents infectieux dans le milieu naturel peut être une tâche incertaine, de longue haleine, freinée par notre médiocre échantillonnage de la biodiversité, en l'occurrence les virus circulants dans les populations de primates⁴².

Il reste tant à étudier à cet égard. Même notre taupe d'Aquitaine, comme sa cousine européenne, s'est révélée héberger des Hantavirus pathogènes pour l'homme dans certaines conditions. Bien inoffensifs dans les circonstances présentes avec le peu de promiscuité entre taupes et humains, ces virus gagnent à être connus afin de prévenir tout problème futur analogue avec ce qui s'est passé avec les civettes du SRAS ou les pangolins ou carnivores de la covid-19.

³⁹ Hassanin, A., Grandcolas, P. & Veron, G. (2020). Covid-19: natural or anthropic origin? *Mammalia*, 000010151520200044.

⁴⁰ Delaune, D., Hul, V., Karlsson, E.A. *et al.* (2021). A novel SARS-CoV-2 related coronavirus in bats from Cambodia. *Nat Communications*, **12**, 6563.

⁴¹ Barré-Sinoussi, F. *et al.* 1983. Isolation of a T-lymphotropic retrovirus from a patient at risk for acquired immune deficiency syndrome (AIDS). *Science* 220, 868-871.

⁴² Salemi M. *et al.* (2000). Dating the common ancestor of SIVcpz and HIV-1 group M and the origin of HIV-1 subtypes by using a new method to uncover clock-like molecular evolution. *The FASEB Journal* 15 (2): 276-78.

J'ai parlé de pari sur la biodiversité, de parier sur l'intérêt de son étude et de sa découverte. Il ne s'agit pas du fameux pari de Pascal qui récompenserait la croyance mais bien d'un pari basement matériel. L'enjeu est de bien vivre dans notre monde terrestre dans les décennies ou les siècles à venir. Ce pari sur la connaissance de la biodiversité a été formalisé par des biologistes sous le vilain nom de valeur d'option, une appellation tirée de théories économiques⁴³. Il s'agit de la valeur d'un bien qui comporte un potentiel encore inconnu d'usages et de valorisations futurs. Comment pourrait-on détruire un bien important dont on ignore le potentiel futur ? Iriez vous déposer immédiatement dans la poubelle un étrange tableau de l'époque Renaissance retrouvé dans le grenier d'une vieille maison, avant d'en savoir plus à son égard ? Et cela même si vous n'êtes pas amateur d'art ou de beaux objets anciens ! La biodiversité a cette sorte de valeur : à nos yeux, que valaient des moisissures, c'est à dire des champignons microscopiques, avant la découverte imprévue des antibiotiques, leurs substances de défense face aux bactéries, par Sir Alexander Fleming ? Chacun devrait s'en rappeler quand il maudit les moisissures qui attaquent notre nourriture, appelant sans vergogne à leur disparition de la surface de la terre.

Spéculer sur la valeur de la biodiversité n'a guère d'intérêt immédiat mais tout esprit rationnel devrait par contre comprendre qu'il est essentiel de la préserver sur le long terme. Cette valeur d'option – un pari sur le futur - est bien différente de la valeur d'usage, dite aussi valeur de service ou contribution de la nature, caractérisée par nos innombrables usages actuels, qu'il s'agisse de produire nos aliments, de maîtriser nos îlots de chaleurs par temps de canicule ou d'épurer notre eau de boisson. Aucun mérite à comprendre la valeur de service de la biodiversité pour nos usages présents, ils devraient nous être évidents puisque nous en tirons des bénéfices quotidiens⁴⁴ (*cf. Bons et loyaux services rendus*).

⁴³ Pellens R. & Grandcolas P. eds.(2016). *Biodiversity Conservation and Phylogenetic Systematics: preserving our evolutionary heritage in an extinction crisis*. Springer Open.

⁴⁴ Díaz S., et al. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366, eaax3100.

Encore différente des valeurs d'option ou de service, la valeur intrinsèque de la biodiversité est plus difficile à appréhender. Indépendante de nos usages présents (valeur de service) ou de nos usages futurs (valeur d'option), il s'agit de la valeur éthique qu'a la biodiversité par elle-même, indépendamment de l'existence de l'espèce humaine : elle est bien difficile à concevoir pour des esprits humains comme les nôtres, centrés sur leur existence⁴⁵.

Revenons au pari de la valeur d'option : il est bien compréhensible, moins à court terme que la valeur de service immédiate, et moins théorique que la valeur intrinsèque. Ce pari est notre meilleure raison de conserver le plus de biodiversité possible, même celle dont nous ne semblons pas avoir l'usage à ce jour, pour conserver un capital dont nous n'avons même pas encore perçu de dividendes. Il est notre meilleure chance d'être raisonnable et prévoyant. Cependant, même le plus fou des idéalistes ne saurait espérer que toute la biodiversité soit préservée de la destruction liée à notre usage croissant des terres et des océans⁴⁶. D'après la FAO, la moitié des terres habitables est déjà dévolue aux productions alimentaires, dont les deux tiers pour l'élevage, une surface qui a doublé depuis le début du XXème siècle. La pêche industrielle exploite plus de la moitié de la surface des océans et mers du globe⁴⁷, avec plus du tiers des espèces pêchées en surpêche non durable⁴⁸.

Par conséquent, il est indispensable de diriger nos efforts de conservation vers les parties les plus importantes de la biodiversité, celles qu'il nous faut préserver à tout prix. Mais comment faire ce choix dans un ensemble gigantesque – plus de 10 millions d'espèces – dont la valeur des parties nous est encore en grande partie inconnue ? Un biomathématicien et systématicien de génie, Dan Faith, a trouvé une solution à ce problème, en créant une métrique qui décrit la diversité biologique⁴⁹. En effet, plus un

⁴⁵ Maris, V. (2016). *Philosophie de la biodiversité: petite éthique pour une nature en péril*. Buchet/Chastel.

⁴⁶ Pongratz, J., Reick, C., Raddatz, T., & Claussen, M. (2008). A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last millennium. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(3).

⁴⁷ Kroodsma D.A., Mayorga J., Hochberg T., Miller N.A., Boerder K., Ferretti F., Wilson A., Bergman B., White T.D., Block B.A., Woods P., Sullivan B., Costello C. & Worm B. (2018). Tracking the global footprint of fisheries. *Science*, 359, 904.

⁴⁸ FAO. (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016*. Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200 pp.

⁴⁹ Faith D.P. (1992). Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation*, 61, 1-10.

sous-ensemble donné d'organismes représente une grande diversité, plus élevé est son potentiel en termes de futurs valeurs et usages variés. Dan Faith a donc proposé de caractériser l'ensemble du vivant par des distances évolutives, qui prennent en compte les changements intervenus au cours de l'évolution des espèces. Cette distance peut être évaluée sur la base d'un échantillon de caractères des espèces, aujourd'hui le plus souvent moléculaires. L'espèce humaine est ainsi proche parente du chimpanzé, plus lointaine parente de l'orang outang et beaucoup plus lointainement apparentée à une méduse, un insecte ou à une plante. L'ensemble de ces distances permet de construire des arbres d'apparentement que l'on appelle des arbres phylogénétiques. La somme des distances représentant le plus court chemin entre un sous-ensemble de plusieurs organismes au sein de l'arbre du vivant est appelée diversité phylogénétique. On mesure ainsi la quantité d'évolution représentée par ce sous-ensemble. Quantité d'évolution équivaut à diversité des organismes, car plus les organismes évoluent, plus ils divergent dans leurs caractéristiques. En suivant ce principe, on comprendra aisément que de conserver trois insectes proches parents conservera beaucoup moins de quantité d'évolution que de conserver un insecte, un primate et une plante. Appliquer ce principe aux millions d'espèces du vivant permet d'éviter de systématiser la mesure et l'usage de la valeur d'option. Optimiser un choix d'espèces à considérer grâce à la diversité phylogénétique permet ainsi de maximiser la diversité et de minimiser les pertes de valeur d'option.

L'idée n'est évidemment pas de pratiquer un choix cynique autorisant de gaité de cœur les destructions de l'environnement et les extinctions d'espèces qui contribueraient peu à la diversité et à la valeur d'option. Bien au contraire, face à des désastres et à des mesures brutales d'opportunité, il s'agit d'argumenter pour conserver des espèces contributives qui seraient considérées à tort comme négligeables ou sacrificables. Cette mesure basée sur l'évolution biologique et les parentés entre organismes a en outre l'avantage de ne pas changer du tout au tout suite à l'acquisition de connaissances nouvelles : elle a du sens dès le début de notre analyse car elle résume l'évolution biologique, une série d'évènements uniques qui relient toutes les espèces vivantes.

Nous découvrirons d'autres organismes car nous n'en connaissons au mieux qu'un petit quart du total. Mais ceux-ci viendront se placer au sein de l'arbre du vivant, entre ou dans des groupes d'organismes déjà décrits. Après plusieurs siècles d'exploration biologique, l'arbre du vivant est déjà connu par son tronc et ses branches principales. Si nous sommes encore souvent surpris de découvrir encore quelques nouvelles branchettes étonnantes, elles changent peu la silhouette générale de l'arbre. Ces branchettes reliées par des caractères communs avec d'autres espèces déjà connues ont cependant l'avantage de posséder leur petit lot de caractéristiques uniques dont la valeur peut se révéler inestimable pour nos usages humains. Par exemple, deux ordres d'Insectes ont ainsi été décrits récemment, dont un connu uniquement par des fossiles et l'autre comportant des représentants actuels et fossiles. Aux côtés des 28 ordres d'Insectes actuels, papillons (Lépidoptères), des scarabées (Coléoptères), des mouches (Diptères), etc., sont venus s'intercaler l'ordre des Mantophasmatodea⁵⁰ et celui des Permopsocida⁵¹. Le dernier nous aide ainsi à comprendre comment l'appareil buccal suceur-piqueur des Hémiptères est apparu, une merveille de mécanique des fluides dont nous pouvons nous inspirer pour réaliser pompes ou mini-injecteurs⁵².

La plateforme intergouvernementale d'évaluation de la biodiversité et des services écosystémiques (IPBES) réunie sous l'égide des Nations Unies a récemment reconnu l'importance de la valeur d'option et de sa mesure⁵³. N'y a-t-il de meilleure raison de conserver un ensemble disparate que de considérer les caractéristiques de chacune de ses parties et leur combinaison ?

⁵⁰ Klass K.D., Zompro O., Kristensen N. & Adis J. (2000). Mantophasmatodea: A new Insect order with extant members in the Afrotropics. *Nature*, 296, 1456-1459.

⁵¹ Huang D.-Y. et al. (2016). New fossil insect order Permopsocida elucidates major radiation and evolution of suction feeding in hemimetabolous insects (Hexapoda: Acercaria). *Scientific Reports*, 6, 23004.

⁵² Kornev, Konstantin G., and Peter H. Adler. (2019). Physical determinants of fluid-feeding in insects. In : *Insect Mouthparts*. Springer, Cham, pp. 263-314.

⁵³ Díaz S., et al. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366, eaax3100.

Que percevons nous vraiment de la biodiversité ?

Cette approche rationnelle sur la diversité du vivant et l'avantage de la conserver pourrait laisser à penser que nous percevons tous les caractéristiques de cette diversité et qu'il suffirait d'argumenter sur leur utilité pour aller de l'avant. Et pourtant nos sens et notre esprit ne nous permettent pas d'avoir une image réaliste du monde qui nous entoure. Nos actes, nos discours et nos difficultés avec la biodiversité le montrent bien. Il y a plusieurs dimensions du vivant, pourtant fondamentales, que nous ne percevons pas et qu'il faut rappeler sans cesse pour y penser et en tirer bénéfice.

Le monde invisible des microbes

Nous ne voyons pas ce qui est trop petit : tous les micro-organismes échappent à notre regard. Nous ne les prenons en compte qu'à travers de pénibles et occasionnelles réflexions lorsqu'un problème surgit et nous oblige à les considérer. Les quelques images de ces organismes – virus, bactéries, champignons, protozoaires, algues – prises avec de puissants instruments (microscope électronique, etc.) restent irréelles et distants de nos sens. Nous ne pouvons les toucher, les manipuler et ces images ressemblent presque plus à des œuvres d'imagination d'artistes qu'à des témoignages de la réalité. Une belle image d'artiste du Sars-cov-2 colorisée et contrastée fait ainsi le tour du monde, infiniment plus utilisée qu'un cliché brut et d'apparence imprécise de la silhouette du virus pris au microscope électronique à transmission. L'organisme le plus important du monde à cette heure, le Sars-cov-2, ne nous est familier qu'à travers un figuré d'artiste qui ne nous dit rien, une petite boule bleue revêtue de picots rouges dont nous ignorons même la taille précise.

Ainsi que Marcel Pagnol l'a plaisamment formulé dans ses souvenirs d'enfance, « Il faut dire qu'à cette époque les *microbes* étaient tout neufs, puisque le grand *Pasteur* venait à

peine de les *inventer* ... »⁵⁴. Ces mots splendides d'un grand artiste du début du XX^{ème} siècle, parlant tendrement des bonnes pratiques hygiénistes de sa mère, nous révèlent combien les microbes nous sont étrangers. Ils nous paraissent inventés par la science, faute que nous les percevions directement. Suite aux travaux des pionniers de la microbiologie, le traitement des maladies infectieuses a fait un bond de géant et la raison a semblé triompher de plusieurs maux millénaires qui affligeaient l'espèce humaine. Dans l'esprit de chacun, cette victoire de l'esprit humain nous permet d'affirmer qu'une bonne hygiène supprime les microbes et résout les problèmes de maladies infectieuses. Se laver les mains les rend propres et dépourvues de bactéries, la vie est belle ! La réalité que nous ne percevons pas est toute autre. Nous avons autant de bactéries que de nos propres cellules dans notre corps (à peu près 30000 à 40000 milliards), par centaines d'espèces différentes (plus d'une centaine rien que sur nos mains)⁵⁵. Il en reste bien évidemment sur nos mains fraîchement nettoyées. Nous hébergeons également des milliards de virus dont la majeure partie sont des bactériophages, des tueurs de bactéries. Sans compter les champignons microscopiques, les levures et les quelques protozoaires ou vers microscopiques que nous abritons également par milliers. Les travaux des microbiologistes nous montrent combien ce gigantesque peuplement de microbes, notre « microbiome », nous est indispensable. Au point aujourd'hui que l'on contamine volontairement les bébés nés aseptiques par césarienne pour qu'ils disposent du précieux capital microbien de leur maman, leur permettant de digérer, de se développer, de résister à des microbes adverses, etc. Réduire notre peuplement de bactéries à coup d'antibiotiques nous guérit d'une pathologie mais permet parfois aux champignons de dominer momentanément notre microbiome, voire de nous rendre malades. Nos mesures d'hygiène, par ailleurs essentielles, nous permettent juste d'éviter que certains de ces microbes, néfastes ou déséquilibrants, ne se mettent à dominer notre corps en écrasant la concurrence des milliards d'autres présents et bien nécessaires. Le même constat peut être fait en ce qui concerne l'ensemble du vivant : mille espèces de bactéries dans un centimètre cube du sol de notre jardin, pas un arbre sans ses champignons mycorhiziens nourrissant ses

⁵⁴ Pagnol, M. (1957). *La gloire de mon père*. Pastorelly, Monte-Carlo.

⁵⁵ Sender R., Fuchs S. & Milo R. (2016). Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body. *PLoS Biology*, 14, e1002533.

racines, pas un insecte sans ses bactéries associées lui permettant de digérer sa nourriture, etc.⁵⁶

C'est pour cette raison que les biologistes ont inventé le concept d'« holobionte » : un organisme n'est pas lui-même s'il est seul, s'il n'est pas accompagné par tous ses associés microscopiques, dont beaucoup sont essentiels à son fonctionnement.

L'organisme avec son microbiome forme ainsi un holobionte (du grec *holo*, « tout », et *bios*, « vie »). Par divers mécanismes, un organisme peut transmettre son microbiome à ses descendants, que cela se fasse par simple contamination lors d'un contact social ou au passage par les voies génitales lors de la naissance, voire même par passage à travers la paroi de l'ovaire, ou par encore d'autres modalités. De cette manière, le microbiome est hérité d'ancêtres à descendants, presque avec la même efficacité que pour les caractères déterminés génétiquement et dont l'origine se trouve dans l'ADN.

L'holobionte, l'organisme et ses microbes associés acquiert ainsi une existence propre, avec sa valeur spécifique en termes de survie et de reproduction dans un environnement donné, qui n'est pas seulement celle conférée par le patrimoine génétique et le phénotype⁵⁷ sensu stricto de l'organisme-hôte.

La frontière entre un organisme proprement dit et ses microbes associés devient encore plus ténue si l'on considère que toutes les cellules d'organismes eukaryotes sont pourvues d'organites de lointaine origine symbiotique, comme les mitochondries par exemple (gérant l'énergie cellulaire), ou les chloroplastes (gérant la photosynthèse) chez les plantes. Ces organites cellulaires proviennent vraisemblablement de microbes s'étant associé à nos lointains ancêtres unicellulaires⁵⁸. Quelquefois, le microbe associé s'est même incorporé encore plus intimement au sein de son hôte, laissant quelques gènes insérés dans son génome. Ainsi, un lointain rétrovirus a laissé un de ses gènes à l'ancêtre des mammifères euthériens dont nous faisons partie, gène ayant permis

⁵⁶ Selosse, M.A. (2017). *Jamais seul - Ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations*. Actes Sud.

⁵⁷ Ensemble des traits observables d'un organisme, à la seule exception du génome des cellules germinales dit le génotype

⁵⁸ Martin, W. F., Garg, S., & Zimorski, V. (2015). Endosymbiotic theories for eukaryote origin. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1678), 20140330.

l'apparition de la placentation⁵⁹. Nous n'imaginons pas que la gestation humaine est la lointaine conséquence d'une pollution génétique par un rétrovirus ! Comme le dit fort justement mon collègue Marc-André Selosse, grand spécialiste des symbioses champignons-plantes, nous ne sommes « jamais seul »⁶⁰. Presqu'un dixième du génome humain est ainsi d'origine viral.

Prendre conscience de cette fraction microscopique, invisible et pourtant omniprésente de la biodiversité, c'est acquérir dans notre esprit la compréhension que les communautés microbiennes doivent être équilibrées et que nous devons respecter et contrôler cet équilibre plutôt que de croire pouvoir faire naïvement table rase des microbes avec des armes de destruction massive que sont les médicaments antibactériens, antiviraux, etc. L'hygiène pasteurienne est une merveilleuse avancée si elle s'accommode de cette notion de biodiversité et d'équilibre plutôt que d'un holocauste microbien et d'une aseptie totale qui n'ont de sens biologique qu'en chirurgie et dans la salle d'opération. Comme l'a dit Samuel Alizon, généticien des maladies infectieuses, il faut réconcilier Pasteur et Darwin, car ces microbes sont non seulement souvent nos associés avec des rôles plus ou moins positifs, mais en outre ils évoluent et leurs caractéristiques ne sont pas immuables⁶¹. Leur capacité à nous contaminer, leur pathogénicité, leur virulence, leur résistance à des substances antagonistes comme les antibiotiques pour les bactéries, toutes ces caractéristiques peuvent évoluer. Elles peuvent ainsi être l'objet d'une sélection involontaire qui nous sera défavorable comme celle pour l'antibiorésistance, apparaissant de manières fréquentes, variées et répétées et causant aujourd'hui 700 000 morts par an⁶². Plus grave encore que l'antibiorésistance, nous risquons bientôt de provoquer l'émergence d'une autre résistance qui représenterait un danger mortel pour les humains. Dans la quête incessante pour de nouvelles substances luttant contre les pathogènes analogues aux antibiotiques, nous avons découvert l'existence de petits peptides anti-microbiens

⁵⁹ Dupressoir, A., Vernochet, C., Bawa, O., Harper, F., Pierron, G., Opolon, P., & Heidmann, T. (2009). Syncytin-A knockout mice demonstrate the critical role in placentation of a fusogenic, endogenous retrovirus-derived, envelope gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(29), 12127-12132.

⁶⁰ Selosse, M.A. (2017). *Jamais seul - Ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations*. Actes Sud.

⁶¹ Alizon, S. (2020). *Evolution, écologie et pandémies. Faire dialoguer Pasteur et Darwin*. Points Sciences, Paris.

⁶² Neu H.C. (1992). The Crisis in Antibiotic Resistance. *Science*, 257, 1064.

directement synthétisés par les humains ou beaucoup d'autres organismes. Si jamais ces peptides sont utilisés massivement en thérapeutique dans les années à venir comme de nouveaux antibiotiques, ils conduiront inéluctablement à l'apparition de résistances bactériennes à leur action ; ces dernières ont déjà été obtenues en laboratoire ! Notre corps perdra alors sa dernière ligne de défense contre les micro-organismes qu'il héberge⁶³.

Cette stratégie d'équilibre écologique à propos des micro-organismes en rapport avec notre santé est inscrite au sein de l'initiative internationale « Une santé » (« One Health » en anglais) soutenue par l'OMS, qui préconise une bonne santé animale domestique, un bon état de l'environnement pour obtenir une bonne santé humaine⁶⁴. C'est précisément une carence en la matière qui permet l'émergence croissante de maladies nouvelles et leurs développements épidémiques plus fréquents depuis 1940⁶⁵. Notre emprise de plus en plus forte sur l'environnement, plusieurs centaines de millions d'hectares de forêt tropicale supprimés en 40 ans, notre production animale multipliée par six en 50 ans, les milliers d'espèces exotiques amenées par nos transports internationaux toujours croissants (multipliés par 10 en 50 ans), amène des agents pathogènes à sortir de leur environnement naturel et à s'adapter à de nouveaux hôtes dont fait malheureusement partie l'espèce humaine. Chasser des pangolins, des chiens viverrins ou bien d'autres mammifères par dizaines de milliers dans des forêts fragmentées et diminuées en Asie du Sud Est, élever des carnivores par millions, les amène en contact de chauve-souris et de populations humaines, provoquant l'émergence du virus Sars-cov-2 et la maladie de la covid-19 par recombinaisons des Coronavirus de ces animaux⁶⁶.

Une analyse générale des connaissances publiées sur les maladies émergentes réalisée et par le Fondation pour la recherche sur la biodiversité, et par un panel d'experts de

⁶³ Bell G. & Gouyon P.-H. (2003). Arming the enemy: the evolution of resistance to self-proteins. *Microbiology*, 149, 1367-1375.

⁶⁴ Grandcolas, P. & Justine, J.L. (2020). Covid-19 ou la pandémie d'une biodiversité maltraitée. *The Conversation*. <https://theconversation.com/covid-19-ou-la-pandemie-dune-biodiversite-maltraitee-134712>

⁶⁵ Jones K.E., Patel N.G., Levy M.A., Storeygard A., Balk D., Gittleman J.L. & Daszak P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451, 990-993.

⁶⁶ Hassanin, A., Grandcolas, P., & Veron, G. (2020). Covid-19: natural or anthropic origin? *Mammalia*

l'IPBES en 2020 a confirmé cette tendance effroyable⁶⁷. Là encore, le caractère invisible de cette diversité microbienne ne nous rend pas précautionneux quand nous manipulons des animaux. Nous en ignorons superbement la charge virale ou parasitaire, en pensées comme en actes. Qui se soucie encore aujourd'hui de faire cuire sa viande suffisamment pour en supprimer d'éventuels parasites, dont l'absence n'est pas garantie malgré la sophistication de notre système vétérinaire ?⁶⁸

Les relations entre organismes : discrètes, impalpables et essentielles

Nous percevons les êtres vivants autour de nous, tel oiseau ou telle plante, comme autant d'individus. Cette indépendance et cette autonomie de chaque individu nous semble tellement évidente que ma présente phrase doit sembler bien étrange à la plupart des lecteurs. Pourquoi avoir besoin de dire qu'un être vivant est un individu ? Oui, à nos yeux et dans notre esprit, un être vivant est borné dans l'espace, on voit les limites de son corps. Ce que l'on ne voit pas couramment, on l'imagine comme également limité, comme par exemple les racines d'un arbre dans le sol, que l'on ne voit qu'à l'occasion d'un accident de déracinement. Ce que l'on voit peut être trompeur également : ainsi ce que nous appelons un champignon est un fait le partie reproductrice, le carpophore d'un vaste réseau mycélien souterrain parcourant la litère de feuilles mortes et les racines sous-jacentes des arbres. Chaque amateur de champignons sait sans doute que tel ou tel bolet ou lépiote se trouve plutôt sous telle ou telle espèce d'arbre. C'est en fait parce que cet être vivant que nous imaginons borné à son carpophore, la partie émergée de l'iceberg, est en fait un grand réseau souterrain de filaments associé aux racines de ses arbres préférés. Une association à bénéfices mutuels

⁶⁷ Silvain, J.F. et al.. (2020). *Mobilisation de la FRB par les pouvoirs publics français sur les liens entre Covid-19 et biodiversité*. [Rapport de recherche] FRB, 54 p. <https://www.fondationbiodiversite.fr/mobilisation-de-la-frb-par-les-pouvoirs-publics-francais-sur-les-liens-entre-covid-19-et-biodiversite/>
IPBES (2020) *Workshop Report on Biodiversity and Pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Daszak, P. et al., IPBES secretariat, Bonn, Germany, doi:10.5281/zenodo.4147318

⁶⁸ Villena I. et al. (2012). New strategy for the survey of *Toxoplasma gondii* in meat for human consumption. *Veterinary Parasitology*, 183, 203-208.

entre un arbre et un champignon appelé mycorhize, omniprésente, essentielle mais pourtant invisible dans nos forêts⁶⁹.

Il y a bien sûr l'exception qui confirme la règle et que nous croyons comprendre avec le cas d'organismes coloniaux comme les coraux par exemple, manifestement associés par milliers dans la construction d'une sorte de super-organisme. Et pourtant là encore, nos sens nous trompent et nous concluons trop rapidement : certes les coraux sont extraordinaires car ils représentent d'énormes colonies composés de très nombreux individus mais ce n'est pas tout. Comme nous venons de le voir, peu d'être vivants vivent seuls et la plupart sont associés à des micro-organismes essentiels pour leur survie. Les coraux ne font pas exception : ils tirent leur énergie d'une petite algue symbiotique (association à bénéfices mutuels) qu'ils hébergent. Les coraux en eau profonde sont même associés à une algue spécifiquement capable de capter les longueurs d'onde de la faible lumière filtrée par plus d'une centaine de mètres d'eau⁷⁰. La colonie de coraux est encore d'avantage plurielle que nous l'imaginons !

Mais il existe bien d'autres interactions essentielles entre organismes, qui conditionnent la survie des êtres vivants. Outre les interactions invisibles comme ces symbioses microscopiques avec des champignons ou des algues, il y a aussi les interactions fugaces dont la courte durée ou la faible fréquence nous trompent. Ainsi, voir une abeille domestique ou sauvage (neuf cents espèces en France métropolitaine !) butiner une fleur nous laisse surtout à penser une relation asymétrique : l'abeille se nourrit de nectar et de pollen. Suite au grave déclin bien médiatisé de ces espèces d'insectes, nous comprenons malgré tout aujourd'hui que les plantes bénéficient de cette consommation, grâce à l'échange de pollens entre différents pieds de plantes amenant à une fécondation croisée. Un échange de bons procédés en somme : grâce au butinage, l'abeille se nourrit et la plante se reproduit. Presque 90% des plantes à fleurs ont crucialement besoin de cette aide pour leur fécondation par transport de pollen d'une fleur à l'autre. Certaines qui pourraient s'en passer pour se reproduire en bénéficiant malgré tout, avec une

⁶⁹ Selosse, M.A. (2017). *Jamais seul - Ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations*. Actes Sud.

⁷⁰ Rouzé H. et al. (2021). Symbiotic associations of the deepest recorded photosynthetic scleractinian coral (172 m depth). *The ISME Journal*

production de graines plus importante, comme notre colza cultivé dont la productivité peut augmenter de 30% en cas de pollinisation par des abeilles⁷¹.

Ces interactions entre organismes se comptent par milliers de sortes, qu'il s'agisse de prédation, de régulation ou de facilitation. J'ai cité la pollinisation en premier lieu, ce n'est pas par hasard. Il s'agit là d'un comportement que chacun a déjà vu et dont on ressasse aujourd'hui l'importance. Il n'est pas trop fugace et reste bien visible parce que les butineuses passent un temps infini à visiter les fleurs avec une énergie exceptionnelle. De là, nulle difficulté à en être témoin. Imaginez : une simple ruche comporte plus de 50000 abeilles domestiques au meilleur de l'année, chacune d'entre elles passant plusieurs heures par jour à visiter les fleurs. Il serait très improbable que ces comportements passent inaperçus ! Il y a bien d'autres interactions entre organismes qui sont infiniment plus discrètes. Avez vous déjà vu un renard attraper un mulot, une mante religieuse dévorer un autre insecte, ou encore un cerf consommer l'écorce d'un arbre ? Ou plus insaisissable encore, avez vous perçu l'hésitation ou le recul d'un oiseau devant une coccinelle rouge et noire, parce qu'il a appris par une précédente expérience malheureuse qu'elle a un goût épouvantable. La coccinelle est ce que l'on appelle un insecte aposématique (du grec apó « repousser » et sêma, « signal »), dont les couleurs vives et standardes informent des prédateurs sur sa toxicité. Doués de mémoire, les oiseaux ou d'autres vertébrés n'essaieront pas sans de les consommer à plusieurs reprises. Que plusieurs insectes évoluent vers de telles colorations, et le signal et l'apprentissage n'en seront que renforcés : c'est le phénomène du mimétisme, très étudié chez les papillons⁷² mais présent chez bien d'autres Insectes ou organismes. On voit par là également que les interactions peuvent être autant positives que négatives pour les partenaires concernés. Mycorhizes, pollinisation et mimétisme sont de bons exemples de contre-pouvoir omniprésents à la lutte aveugle et individuelle pour la survie qui est souvent naïvement portraiturée comme une caractéristique darwinienne du vivant et de la sélection naturelle qui le façonne. Nous verrons à ce sujet au chapitre

⁷¹ Perrot, T., Gaba, S., Roncoroni, M., Gautier, J. L., & Bretagnolle, V. (2018). Bees increase oilseed rape yield under real field conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 266, 39-48.

⁷² Elias M. & Joron M. (2015). Mimicry in Heliconius and Ithomiini butterflies: The profound consequences of an adaptation. *BIO Web of Conferences*, 4.

« Et pourtant elle évolue » que l'on fait dire bien des choses fausses au grand et bienveillant Charles Darwin depuis l'époque de ses contemporains jusqu'à nos jours.

Le monde vivant est semblable à une grande tapisserie invisible, tissée des fils de mille interactions, souvent fugaces ou microscopiques et que nous ne voyons pas ou peu. De fait, cette méconnaissance nous joue des tours en permanence. Nous croyons régler un problème en détruisant un antagoniste et nous tirons les fils de la tapisserie en affectant d'autres organismes interacteurs qui nous sont pourtant bénéfiques. Ainsi, la lutte brutale et pas du tout raisonnée contre les insectes de culture avec les fameux néonicotinoïdes hypertoxiques affecte-t-elle profondément les oiseaux insectivores ou partiellement insectivores⁷³. Supprimer presque complètement les Insectes dans un environnement à l'aide de traitements systémiques « préventifs » (graines enrobées), y compris ceux qui ne sont pas consommateurs de nos plantes cultivées, amène à un déclin corollaire des oiseaux qui les consomment, faute de nourriture. Nous nous privons ainsi de précieux alliés dans la lutte contre nos antagonistes, et aussi bien sûr des insectes auxiliaires non-ciblés et qui auraient pu booster nos productions agricoles, par exemple par la pollinisation.

D'autre « fils de la tapisserie » un peu moins médiatisés sont également bien endommagés : il s'agit des relations qu'entretiennent les bousiers, ces coléoptères qui consomment voire enfouissent de mille manières les fécés des grands herbivores. Leur rôle discret, voire répugnant aux yeux de certains, est primordial pour le fonctionnement des écosystèmes. C'est d'autant plus vrai que nous augmentons artificiellement le nombre de grands herbivores dans les écosystèmes, avec notamment les bovins domestiques (vaches, buffles, zébus, etc.) dont la masse sur terre excède désormais très largement celle des humains et de grands vertébrés sauvages terrestres⁷⁴. Ainsi, l'Australie a dû se résoudre à importer des bousiers africains pour gérer les bouses des troupeaux, qui s'accumulaient sur le sol, faute d'action par les coléoptères locaux spécialisés sur les crottes des marsupiaux et qui délaissaient les

⁷³ Benton T.G., Bryant D.M., Cole L., Crick H.Q.P. (2002) Linking agricultural practice to insect and bird populations: A historical study over three decades, *J. Appl. Ecol.*, 39, 673-687.

⁷⁴ Bar-On Y.M., Phillips R. & Milo R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, 6506.

bouses de vaches. Au plan vétérinaire, les bovins domestiques sont affectés par des vers parasites intestinaux pour lesquels ils sont traités. Las, les médicaments utilisés (contre lesquels se développent d'ailleurs des résistances⁷⁵) sont retrouvés dans les bouses et nuisent gravement aux bousiers au point de les faire disparaître de certaines régions⁷⁶. Cet effet est d'autant plus dommageable que les bousiers en enfouissant ou consommant les bouses permettent indirectement le contrôle des stocks parasitaires chez les bovins⁷⁷. Tuer les bousiers revient à rendre le système écologique encore plus inopérant, en se privant du soutien d'auxiliaires et en rendant la lutte contre les parasites entièrement dépendante d'une prophylaxie continue. Les bouses polluées par les vermifuges sont également moins consommables pour d'autres organismes comme des vers de terre qui contribuent aussi à leur recyclage et à bien d'autres fonctions dans le sol. L'ensemble de cette situation dérégulée peut aboutir à des émissions de méthane (gaz à effet de serre) passablement plus élevées !⁷⁸ Les fils de la tapisserie sont décidément bien entrelacés et comme on le voit, en tirer un seul au petit bonheur peut amener à détricoter un pan d'interactions au sein de la biodiversité, avec d'innombrables conséquences négatives.

D'autres exemples d'interactions peuvent être cités qui sont partie des questions de santé humaine. La tristement célèbre maladie de Lyme (la borelliose) est causée par une bactérie pathogène *Borellia* qui nous est transmise par la piqûre de tiques (acariens). Ces tiques piquent tour à tour des réservoirs animaux de la bactérie, rongeurs et Cervidae, puis des humains qu'elles contaminent ainsi. Quand nous massacrons chaque année en France des centaines de milliers de renards sur leur réputation de mangeurs de poules ou de réservoirs de l'échinococcose, nous offrons une dangereuse liberté de mouvement à leurs proies, les rongeurs, réservoirs qui sont ainsi plus à même de

⁷⁵ Rose Vineer H. et al. (2020). Increasing importance of anthelmintic resistance in European livestock: creation and meta-analysis of an open database. *Parasite*, 27.

⁷⁶ Wardhaugh, K. G., & Mahon, R. J. (1991). Avermectin residues in sheep and cattle dung and their effects on dung-beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) colonization and dung burial. *Bulletin of Entomological Research*, 81(3), 333-339.

⁷⁷ Sands, B., & Wall, R. (2016). Dung beetles reduce livestock gastrointestinal parasite availability on pasture. *Journal of Applied Ecology*, 54, 1180-1189.

⁷⁸ Slade, E., Riutta, T., Roslin, T. et al. (2016). The role of dung beetles in reducing greenhouse gas emissions from cattle farming. *Scientific Reports*, 6, 18140.

transmettre leurs tiques et *Borellia* aux humains⁷⁹. Plus subtile encore, cette même maladie de Lyme en Amérique du Nord a un adversaire particulier en la personne des opossums. Ces mammifères marsupiaux sont parasités par les tiques mais ils savent s'en débarrasser en les croquant. Avoir un opossum dans son voisinage équivaut à disposer d'un piège à tiques extrêmement efficace, protégeant in fine des bactéries *Borellia* hébergées par ces tiques. Malheureusement, les opossums, commensaux passablement opportunistes, ont mauvaise presse chez les humains et leur élimination est monnaie courante, diminuant l'avantage que l'on pourrait tirer de leur présence⁸⁰.

Qui n'a pas entendu parler du virus Zika dont les conséquences sur la santé humaine sont redoutables à plusieurs égards. Transmis par des moustiques, il touche maintenant les populations humaines de plusieurs continents. Il existe plus d'un millier d'espèces de moustiques dont quelques unes seulement sont vectrices de maladies humaines. Chaque espèce vectrice a son style de vie et des capacités totalement différentes à être vecteur ou non de tel ou tel agent pathogène humain. A l'origine, le flavovirus Zika était transmis par la sous-espèce de moustique *A. aegypti formosus* en Afrique d'où il est originaire et causait des problèmes moins évidents. En Amérique, il est maintenant transmis par une autre sous-espèce de moustique, *Aedes aegypti aegypti*, envahissante et largement intertropicale qui a le grand inconvénient de préférer le sang et les habitats péri-domestiques humains. Cette seconde sous-espèce injecte en outre des doses supérieures de virus (appelées inoculums) lors des piqûres sur des humains, causant ainsi une infection plus grave⁸¹. Ces moustiques sont globalement envahissants et se répandent notamment avec le commerce des pneus dans lesquels l'eau est immanquablement stagnante.

On pourrait écrire une gigantesque encyclopédie sur la description et la dynamique des interactions entre les êtres vivants, telles qu'elles sont encore imparfaitement connues

⁷⁹ Hofmeester T.R., Jansen P.A., Wijnen H.J., Coipan E.C., Fonville M., Prins H.H.T., Sprong H. & van Wieren S.E. (2017). Cascading effects of predator activity on tick-borne disease risk. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284, 20170453.

⁸⁰ Keesing F., Brunner J., Duerr S., Killilea M., LoGiudice K., Schmidt K., Vuong H. & Ostfeld R.S. (2009). Hosts as ecological traps for the vector of Lyme disease. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276, 3911-3919.

⁸¹ Aubry F. et al. (2020). Enhanced Zika virus susceptibility of globally invasive *Aedes aegypti* populations. *Science*, 370, 991.

par les scientifiques ... qui n'ont en outre étudié que les espèces connues (soit 20% du total au mieux). Certaines études s'attachent à considérer les réseaux formés par ces interactions, comme si l'on s'intéressait à un motif d'un bout de la tapisserie. La difficulté réside dans la multidimensionalité de cette tapisserie qui n'est pas grossièrement bidimensionnelle comme un tissage humain. Cela rajoute à la complexité de sa description ou de sa modélisation, pour comprendre les effets de telle ou telle tendance environnementale⁸².

Les charismatiques et tous les autres

Nous sommes vivants issus du vivant, et nous avons un besoin biologique de contact avec la biodiversité, même si nous ne nous en rendons pas toujours compte⁸³. Chacun a ainsi fait l'expérience personnelle d'une attirance ou d'une répulsion prononcée pour certains organismes : on aime ainsi le beau papillon, l'utile coccinelle, le grand arbre majestueux ou la girafe démesurée tandis que l'on déteste ou l'on craint la blatte, le moustique ou le serpent. Ces sentiments cachent une grande diversité de situations : nous pouvons admirer le roi lion mais redouter évidemment de se trouver devant lui lors d'une visite à une savane africaine, nous pouvons craindre le serpent mais admirer sa prestance, nous pouvons applaudir le rôle de l'abeille pollinisatrice mais pour autant hésiter à la recueillir au creux de notre main afin d'éviter une piqûre. Nous pouvons aussi tout simplement être indifférents à des organismes bizarres qui nous paraissent sans queue ni tête – une concombre de mer (holothurie) ou une mousse (bryophyte) que nous avons du mal à raccrocher à notre image simpliste du vivant, un corps avec une tête et des pattes, ou un tronc avec des feuilles et des fleurs !

Plusieurs travaux récents significatifs ont exploré notre ressenti humain vis à vis du vivant en essayant de faire la part de ces différentes situations. Ces travaux se replacent

⁸² Fontaine C., Guimarães Jr P.R., Kéfi S., Loeuille N., Memmott J., van der Putten W.H., van Veen F.J.F. & Thébault E. (2011). The ecological and evolutionary implications of merging different types of networks. *Ecology Letters*, 14, 1170-1181.

⁸³ Wilson, E.O. (1984). *Biophilia - The human bond with other species*. Harvard University Press, Cambridge.

principalement dans le cadre d'une culture occidentale globalisée, occultant aujourd'hui de manière croissante celles des peuples premiers.

Tout d'abord, notre empathie pour un être vivant, qui se manifeste par exemple par notre compassion si nous le voyons en difficulté, varie en fonction de notre proximité évolutive. Une étude passionnante et récente de mon laboratoire a ainsi montré que nous ressentons plus d'empathie pour les primates que pour les autres mammifères, que pour des poissons, des insectes, des plantes etc. de manière décroissante⁸⁴. Cette relation d'empathie décroissante est statistiquement très claire mais quelques rares organismes lui font quelques exceptions. Ainsi, beaucoup de personnes ressentiront plus de douleur à voir couper un grand arbre qui nous est pourtant lointainement apparenté qu'à voir pêcher un poisson plus proche apparenté ; je suis dans ce cas moi-même, je dois l'avouer. Je me sens de fait coupable en pensant à la surpêche affectant 33% des espèces de poissons consommées, tragédie écologique que ma raison condamne mais sur laquelle que mon affect ne réagit pas. Nous verrons plus loin plusieurs causes possibles à cette forte empathie « aberrante » que nous avons vis à vis de quelques organismes malgré leur grande distance évolutive. Mais pour la plupart des organismes, il y a clairement un fond significatif dans cette relation qui provient sans doute de notre origine biologique. Etant nous-mêmes des primates, nous aurons plus de familiarité perceptive, plus d'identification et plus de compréhension vers nos semblables ou ceux qui leur ressemblent.

Par exemple, les éthologistes qui étudient le comportement des animaux savent depuis longtemps que l'espèce humaine a une tendance instinctive à protéger et ressentir de l'empathie pour les petits animaux au musée camus. La plupart des personnes s'attendrissent ainsi devant un petit chien ou un petit chat, saisies par l'envie de le protéger et de le caliner. D'où vient cette tendance instinctive ? Le musée camus de ces jeunes mammifères évoque en fait pour nous le visage d'un bébé humain camus à la naissance et qui devient ensuite aquilin en grandissant : nous avons évolué de manière à chérir nos très jeunes enfants et leur visage rond et aplati déclenche en nous un comportement d'empathie. Les bébés humains requièrent absolument nos soins car nous sommes une espèce altricielle dont les bébés sont incapables de se débrouiller

⁸⁴ Miralles A., Raymond M. & Lecoindre G. (2019). Empathy and compassion toward other species decrease with evolutionary divergence time. *Scientific Reports*, 9, 19555.

seuls⁸⁵. Chez d'autres organismes dits « précoces », les jeunes sont capables de se déplacer immédiatement après la naissance ; pensez au poulain qui se lève déjà sur ses pattes tremblantes quelques minutes après la mise bas. Cette empathie instinctive pour les visages camus de nos bébés se manifeste instinctivement à l'adresse des autres jeunes mammifères, nos proches apparentés au plan évolutif. Certains ne manqueront pas d'être outrés par ce constat de réaction instinctive qui nous rappelle clairement notre animalité, une qualité encore peu acceptée, même en dehors du cercle restreint des créationnistes.

Pour se convaincre de notre capacité instinctive à éprouver de l'empathie pour nos apparentés, il suffit soi-même de comparer notre réaction spontanée face à la dénonciation des conditions atroces prévalant dans tel ou tel élevage de poulets ou de cochons avec des images que nous trouvons insoutenables ... avec notre réaction face à des poissons épouvantablement comprimés dans un chalut sortant de l'eau à la poupe d'un bateau de pêche. La première image provoque souffrance et dégoût pour nous tous tandis que la seconde image évoquerait plutôt une corne d'abondance dans la plupart de nos esprits. Nul jugement moral de ma part dans cette assertion mais un appel à la prise de conscience du caractère peu rationnel de nos conceptions empathiques. En effet, en quoi devrions nous plus la souffrance chez des poissons que chez des poulets au plan éthique ? Les poulets seraient ils plus sentients et mériteraient-ils plus notre compassion ? Ce sujet appelle à mentionner le travail des philosophes de l'éthique qui ont forgé une discipline analysant nos jugements moraux. Un travail célèbre à cet égard décrit le cercle éthique s'élargissant lentement au cours des siècles, au delà de notre famille, de notre groupe social, de notre société, jusqu'à englober tous les humains, puis à englober enfin d'autres êtres vivants que les humains⁸⁶. Ce faisant, nous avons lentement rompu, trop lentement en fait, avec un altruisme archaïque pour forger de véritables conceptions morales basées sur une théorie de l'altruisme plus que sur un ressenti biologique instinctif. Sans doute est-il temps aujourd'hui de se rendre compte

⁸⁵ Lehmann V., Huis in't Veld E.M.J. & Vingerhoets A.J.J.M. (2013). The human and animal baby schema effect: Correlates of individual differences. *Behavioural Processes*, 94, 99-108.

⁸⁶ Singer, P. (2011). *The expanding circle: Ethics, evolution, and moral progress*. Princeton University Press.

que cet effort altruiste et éthique doit aussi être dirigé de manière réfléchie vers l'ensemble du vivant⁸⁷.

Outre la proximité évolutive, d'autres facteurs peuvent influencer notre ressenti. De nombreuses études ont ainsi montré que la rareté des organismes influence profondément notre jugement. Nous donnons intuitivement un prix plus élevé à ce qui est rare, en deçà même d'une simple conception économique (qui s'en inspire évidemment). Par exemple, des expériences passionnantes ont montré la réaction du public face à des couples d'espèces semblables en exposition, l'une prétendument rare et l'autre présentée comme banale. Le chapardage se fait inévitablement plus fréquemment aux dépens des échantillons de l'espèce rare⁸⁸. Même réaction dans la chasse aux trophées, ou dans la collectionnisme des amateurs d'organismes rares, qu'il s'agisse d'éleveurs de « reptiles », de jardiniers ou de collectionneurs d'insectes : plus l'organisme est reconnu rare par une communauté, plus sa valeur augmente et plus il est désiré⁸⁹. Cet effet est bien évidemment désastreux en matière de protection des espèces et conservation de la biodiversité. Plus une espèce est rare, plus ses populations sont peu nombreuses, petites ou son habitat très particulier, et plus ses chances d'extinction sont élevées. Si en plus, elle attire ainsi l'appétit des collectionneurs ou des chasseurs, elle est vouée à être précipitée dans ce que l'écologue Franck Courchamp a étudié et dénommé un effet anthropogénique Allee, une sorte de vortex ou cercle vicieux d'extinction : être rare amène plus de prélèvements, ce qui rend plus rare et amène plus de prélèvements, etc. jusqu'à l'effondrement des populations et l'extinction.

Les effets de cette préférence pour la rareté peuvent avoir de facheuses conséquences à bien d'autres égards : par exemple, la recherche de trophées rares par les chasseurs peut amener à préférer tuer les vieux mâles de sangliers plutôt que des individus plus banals, ce qui modifie la structure sociale des hardes, la rend plus propice à la reproduction en

⁸⁷ Pelluchon, C. (2021). *Les Lumières à l'âge du vivant*. Le Seuil, Paris.

⁸⁸ Angulo, E., Deves, A. L., Saint Jalmes, M., & Courchamp, F. (2009). Fatal attraction: rare species in the spotlight. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1660), 1331-1337.

⁸⁹ Courchamp F., Angulo E., Rivalan P., Hall R.J., Signoret L., Bull L. & Meinard Y. (2006). Rarity Value and Species Extinction: The Anthropogenic Allee Effect. *PLoS Biology*, 4, e415.

libérant de jeunes reproducteurs, et amène à plus de croissance dans ces populations⁹⁰. La recherche de trophées peut ainsi contrarier le contrôle des populations certes prélevées par la chasse mais stimulées dans leur reproduction.

Mais la rareté n'est pas seulement écologique, du fait de peu de petites populations ou de faibles densités dans des habitats restreints. On peut aussi mesurer une rareté évolutive, liée à la représentativité d'une espèce au sein d'un groupe d'organismes⁹¹. Figurons nous l'arbre des relations de parenté entre des organismes. C'est ce que l'on appelle une phylogénie, un arbre non pas généalogique qui relierait ancêtre à descendants, mais bien phylogénétique, qui relie les organismes selon leur degré de parenté. Au sein de cet arbre, on considérera comme plus rares, évolutivement parlant, les espèces qui représentent des groupes évolutifs anciens qui ont divergé précocément mais dont la taille est aujourd'hui restreinte. Par exemple, les « poissons » coelacanthes (deux espèces connues) représente les seuls représentants vivants d'un groupe séparé précocément des amphibiens, mammifères, oiseaux et « reptiles »⁹². Ils ne sont pas directement apparentés aux autres poissons. On les dit donc relictés, espèces survivantes d'un vaste groupe ancien aujourd'hui majoritairement éteint⁹³. Le terme de relictés est préféré à celui de « fossile vivant », popularisé par Darwin lui-même mais trompeur car il laisse à penser que ces relictés n'auraient pas évolué depuis le moment de la fossilisation de leurs apparentés. Bien des organismes peuvent être ainsi qualifiés de relictés, par exemple le *Ginkgo biloba*, un arbre d'ornement bien connu mais seul représentant des Ginkgoales du Crétacé ou le Tuatara, un faux-lézard néo-zélandais, seul survivant d'un groupe mondial au Miocène, séparé précocément de l'ancêtre commun des lézards et des serpents.

Les relictés ont fait couler beaucoup d'encre, comme le montrent les appellations sensationnalistes et trompeuses qui se sont multipliées pour les désigner : fossiles vivants (nommées ainsi par Charles Darwin lui-même !), chaînons manquants, espèces

⁹⁰ Braga C., Alexandre N., Fernández-Llario P. & Santos P. (2010). Wild boar (*Sus scrofa*) harvesting using the espera hunting method: side effects and management implications. *European Journal of Wildlife Research*, 56, 465-469.

⁹¹ Pellens R. & Grandcolas P. (eds.) (2016). *Biodiversity Conservation and Phylogenetic Systematics: preserving our evolutionary heritage in an extinction crisis*. Springer Open.

⁹² Lecointre, G., & Le Guyader, H. (2001). *Classification phylogénétique du vivant*. Belin.

⁹³ Grandcolas P., Nattier R. & Trewick S.A. (2014). Relict species: a relict concept? *Trends in Ecology & Evolution*, 29, 655-663.

panchroniques, etc. En réalité, leur seul mérite est d'être les rares ou uniques représentantes de groupes d'organismes aujourd'hui de taille très réduite et donc de nous informer sur des étapes de l'évolution dont il reste peut de traces. Ainsi, ne pas considérer les coelacanthes – par exemple, s'ils étaient restés inconnus dans les profondeurs de l'océan indien – nous donnerait moins de clés pour comprendre une étape dans l'évolution des vertébrés, aux confins des ancêtres des poissons et des autres vertébrés.

Conserver ces espèces – un coelacanth, un gingko ou un tuatara – représente un réel enjeu, car elles documentent à elles seules plus d'histoire, de diversité évolutive et de caractéristiques biologiques originales que la énième espèce de poisson, de lézard ou d'arbre dans des groupes où des espèces voisines passablement similaires se comptent par centaines ou par milliers. Pour autant, elles suscitent souvent un engouement irrationnel du fait de ce caractère de survivant, cette rareté évolutive, un peu comme si elle représentaient un rare trésor témoin d'un lointain passé et tout juste exhumé.

Ces deux types de rareté, écologique et évolutive, mettent en lumière un élément de nos comportements : notre esprit valorise fortement ce qui est rare et nous cherchons à l'acquérir. Les psychologues évolutionnistes ont cherché les raisons implicites à cette tendance importante pour l'économie humaine. S'agit-il par exemple de conforter un statut social, de satisfaire son ego, ou de posséder une monnaie d'échange⁹⁴ ? Une raison plus fondamentale encore à cette tendance relève de l'optimisation énergétique de nos comportements telle qu'elle a été sélectionnée au cours de l'évolution, et étudiée par les écologues évolutionnistes⁹⁵ : ainsi, acquérir « facilement » un item rare sans effort physique démesuré est favorisé à tout coup par opportunisme⁹⁶. Pensons à nos ancêtres chasseurs-cueilleurs recherchant pour survivre des ressources dont l'abondance est médiocre et passablement saisonnière ou imprévisible, en somme rare ; une opportunité de s'approprier rapidement et à moindre coût une partie de cette ressource (un aliment

⁹⁴ Lynn, M. (1992). The psychology of unavailability: Explaining scarcity and cost effects on value. *Basic and Applied Social Psychology*, 13(1), 3-7.

⁹⁵ Pyke, G. H., Pulliam, H. R., & Charnov, E. L. (1977). Optimal foraging: a selective review of theory and tests. *The quarterly review of biology*, 52(2), 137-154.

⁹⁶ Brehm, J. W., Wright, R. A., Solomon, S., Silka, L., & Greenberg, J. (1983). Perceived difficulty, energization, and the magnitude of goal valence. *Journal of Experimental Social Psychology*, 19(1), 21-48.

ou un matériau, par exemple) sera toujours saisie. Une telle tendance à l'opportunisme et à l'avidité pour le rare sera inéluctablement cible de la sélection naturelle, si tant qu'elle est favorable à la survie et à la reproduction d'un individu dans un monde incertain. Ce comportement est donc fortement inscrit en nous, au point de constituer une sorte de biais cognitif qui nous influence malgré nous. Dans nos sociétés modernes, l'attrait pour la rareté a bien évidemment des conséquences en matière commerciale et économique et revêt donc une grande importance. Au point d'ailleurs que les trafics d'organismes dont la valeur est toujours sous-tendue par la rareté (ou tout au moins par le rapport de l'offre et de la demande) représentent la quatrième source de revenus illégaux dans le monde, derrière les armes, la drogue ou la prostitution⁹⁷. Combien de collectionneurs ou de gourmets dépenseront-ils ainsi des sommes folles pour acquérir des animaux ou des plantes rares et leurs produits, cornes de rhinocéros, écailles de pangolin, orchidées, squelettes de dinosaures ? C'est même ce mécanisme qui a provoqué l'émergence récente d'au moins deux pandémies – SRAS et Covid-19, en permettant une recombinaison entre virus d'animaux objets de trafics, mammifères sortis de leur habitat ou élevés par milliers, et virus de chauve-souris cohabitantes⁹⁸. Qu'il s'agisse de pangolins, civettes, chiens viverrins ou autres carnivores dont la capture, le trafic voire l'élevage sont rendus très lucratifs par leur rareté en regard d'une demande sociale sans cesse croissante. L'attrait pour la rareté biologique a déjà tué plusieurs millions de personnes pendant ces deux dernières décennies.

Ces sentiments d'attrait pour le rare sous-tendent constamment nos comportements, même lorsqu'ils ne se focalisent pas directement sur la valeur monétaire des organismes. Nous sommes ainsi émerveillés par la rare observation d'une baleine lors d'une sortie en mer, par un arbre remarquable par sa rare stature, par un animal exotique rarement visible dans un parc zoologique. De savoir en outre qu'un tel organisme serait le seul survivant d'un groupe ancien venant du fond des âges géologiques renforce cet attrait. Le plus rare des organismes est la relicté deux fois rares, seul survivant d'un groupe ancien et aussi rare au plan écologique du fait de ses

⁹⁷ Can & Macdonald (2019). Dealing in deadly pathogens: Taking stock of the legal trade in live wildlife and potential risks to human health. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00515.

⁹⁸ Hassanin, A., Grandcolas, P. & Veron, G. (2020). Covid-19: natural or anthropic origin? *Mammalia*, 000010151520200044.

petites populations ou de son habitat restreint. Lors des terribles incendies récents de forêts australiennes, une forêt relictive de pins austraux, les fameux Araucariaceae très abondants pendant des temps géologiques éloignés (dès avant le Crétacé), a pu être sauvée par l'action de pompiers mobilisés pour intervenir sur une réserve naturelle. Les journaux ont alors titré « 'Dinosaur trees': firefighters save endangered Wollemi pines from NSW bushfires » ou encore « it's one of the world's oldest and rarest plants, and the only place it grows in the wild is in a top-secret rainforest gorge. »⁹⁹ Inutile de dire que ces espèces actuelles d'Araucariaceae ne sont pas spécialement anciennes ou préhistoriques mais ont le grand intérêt de représenter un groupe ancien et ses caractéristiques aujourd'hui peu fréquent sur le globe terrestre ! Les Araucariaceae trouvent leur origine au Carbonifère, il y a plus de 300 millions d'années, et sont bien connus à l'état fossile. Leurs quelques descendants actuels sont éparpillés en Amérique, Australie et Nouvelle-Calédonie et font donc figures de relictives, mais ne sont en elles-mêmes que des espèces récentes, dernières survivantes d'une diversification qui s'est poursuivie puis tarie au cours des âges¹⁰⁰. Mais combien est-il excitant et satisfaisant pour notre avidité à dénicher des choses rares de penser que ces espèces d'arbres restreints dans leur répartition sont de rares survivants d'un groupe plus ancien que les dinosaures. Lors d'un de mes premiers travaux de terrain en Nouvelle-Calédonie il y a plus de 20 ans, j'ai eu l'opportunité de travailler au sein d'une lande à *Araucaria* située au sommet du Mont Do, une petite montagne culminant à 1000 m d'altitude, et sous les nuages et les vents. Cet endroit inhabité est esthétiquement étonnant, avec l'allure d'une lande parsemée de ces arbres aux silhouettes étranges, des surfaces de roche nue ferrugineuse sur laquelle font contraste de blanchâtres champignons lichénisés *Cladonia*. L'étrangeté de ce lieu pour des yeux occidentaux couplée à la légende de l'antiquité des *Araucaria* a promu cet endroit au rang de décor idéal pour des films naturalistes paléontologiques. Les lieux ont été capturés par le cinéma numérique et des

⁹⁹ <http://www.bbc.com/travel/story/20200826-the-fight-to-save-australias-ancient-dinosaur-trees>

¹⁰⁰ Liu N., Zhu Y., Wei Z., Chen J., Wang Q., Jian S., Zhou D., Shi J., Yang Y. & Zhong Y. (2009). Phylogenetic relationships and divergence times of the family Araucariaceae based on the DNA sequences of eight genes. *Chinese Science Bulletin*, 54, 2648-2655.

Gaudeul M., Gardner M.F., Thomas P., Ennos R.A. & Hollingsworth P.M. (2014). Evolutionary dynamics of emblematic *Araucaria* species (Araucariaceae) in New Caledonia: nuclear and chloroplast markers suggest recent diversification, introgression, and a tight link between genetics and geography within species. *BMC Evolutionary Biology*, 14.

images de synthèse de Dinosaures y sont implantés pour nous fournir l'image de temps révolus où les grands lézards dominaient le monde. Bienvenue à Jurassic Park !

Privilégier ainsi de rares espèces dans notre esprit conduit au pire comme au meilleur : à leur surexploitation dans des trafics variés mais aussi à des efforts démesurés pour leur sauvegarde (interdictions de collectes, établissement de parcs ou réserves, etc.) Au plan scientifique, il découle cependant de cette tendance deux retombées bénéfiques non négligeables. D'une part, ces espèces relictées, rares évolutivement, représentent effectivement un patrimoine original, en termes de connaissances et de diversité de caractéristiques biologiques. Sans les Araucariaceae actuelles, il n'y aurait pas de traces d'un groupe de Gymnospermes qui a dominé la terre pendant 200 millions d'années, ni de leurs caractéristiques biologiques originales et qui nous resteraient à jamais inconnues si ce n'est par quelques restes fossiles. Autant d'organismes originaux conservés, autant de caractères particuliers disponibles dont les bénéfiques futurs nous sont encore inconnus. D'autre part, ces espèces relictées, de par l'attrait qu'elles suscitent, sont également des espèces étendards (« flag species » des anglophones) garantissant par leur aura que tel ou tel espace naturel où elle sont implantées sera bien conservé sans être rasé par un aménageur sans scrupules. La démonstration en a été faite lors de ces grands incendies fin 2019 en Australie, où l'ampleur de la tragédie n'a pas empêché une mission spécifique de sauvetage par hélicoptères pour sauver la réserve aux Araucariaceae *Wollemia*.

Cet attrait pour la rareté laisse à penser que tout un chacun est capable d'évaluer correctement l'abondance des organismes et de repérer ceux qui sont réellement très peu communs ... quitte à fantasmer sur leur signification. C'est encore trop espérer en regard du peu de familiarité de nos sociétés avec la biodiversité ! Une étude récente a ainsi montré que nous confondons abondance médiatique et abondance réelle dans notre évaluation intuitive de l'abondance ou de la rareté. Notre esprit réagit positivement à l'omniprésence médiatique de certaines espèces charismatiques : nous voyons sans cesse girafes, éléphants et lions dans des documentaires animaliers, des reportages photos, des dessins animés ou des jouets et notre esprit est abusé par cette

omniprésence¹⁰¹. Nous pensons à tort que leurs populations sont nombreuses et en bon état¹⁰². En réalité, ces espèces sont toutes en très fort déclin, malgré leur visibilité et notre intérêt ! C'est une tragédie qui se joue silencieusement dans le confort et la satisfaction médiatique les plus naïves.

Ce problème de perception et de confusion entre le monde virtuel des médias et la réalité des organismes et des écosystèmes se replace dans une question plus générale de psychologie de l'environnement. Chacun de nous ressent le passé comme le bon vieux temps ou au contraire comme un moment bien difficile à vivre, selon les vécus individuels et les périodes. Il en est ainsi avec notre perception de l'environnement : nous peinons à nous souvenir avec exactitude des états passés de l'environnement, en manifestant une sorte d'amnésie environnementale¹⁰³. Ou alors, nous restreignons nos impressions à une comparaison entre le présent et un passé récent, en effaçant les états antérieurs de notre mémoire. Ce phénomène appelé syndrome de la référence glissante (« shifting baseline syndrome ») nous fait minimiser les tendances observées¹⁰⁴. Dans les deux cas, cette amnésie totale ou partielle nous empêche d'avoir une appréciation réaliste de la situation. Cette amnésie se nourrit aussi certainement de notre déconnexion à la biodiversité : nous ne sommes même plus capables de nommer les quelques organismes communs qui nous entourent¹⁰⁵, nous perdons l'expérience directe du contact avec la nature¹⁰⁶.

Toujours est-il que l'intérêt médiatique pour des organismes charismatiques et les biais qui en découlent n'épargnent par la science, comme nous allons le voir. Le doctorat d'un brillant étudiant très compétent en informatique a permis à deux équipes de mon laboratoire de mobiliser 600 millions de données de biodiversité en accès libre sur le portail du consortium international scientifique pour les données de biodiversité, le

¹⁰¹ Albert C., Luque G.M. & Courchamp F. (2018). The twenty most charismatic species. *PLoS ONE*, 13, e0199149.

¹⁰² Courchamp F., Jaric I., Albert C., Meinard Y., Ripple W.J. & Chapron G. (2018). The paradoxical extinction of the most charismatic animals. *PLoS Biology*, 16, e2003997.

¹⁰³ Dubois, P.J. (2012). *La grande amnésie écologique*. Delachaux & Niestlé.

¹⁰⁴ Pauly D. (1995). Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. *Trends Ecol. Evol.*, 10, 430.

¹⁰⁵ Bebbington A. (2005). The ability of A-level students to name plants. *Journal of Biological Education*, 39, 63-67.

¹⁰⁶ Soga M. & Gaston K.J. (2016). Extinction of experience: the loss of human-nature interactions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14, 94-101.

GBIF (Global Biodiversity Information Facility¹⁰⁷). Ces données concernent tous les organismes vivants (micro-organismes exclus) et elles permettent de montrer que certains groupes d'organismes sont sous-échantillonnés et sous-étudiés - par exemple les Insectes - tandis que d'autres sont sur-échantillonnés – en particulier, les oiseaux –. Ces tendances semblent liés à l'intérêt de la société pour les différents groupes d'organismes, comme le montre une analyse statistique en lien avec les mentions de ces groupes sur les pages web de différentes sortes, scientifiques et non-scientifiques. Les scientifiques ont effectivement intérêt à étudier des organismes socialement valorisants plutôt que d'obscures espèces dont la société toute entière se désintéresse¹⁰⁸. Il leur est ainsi plus facile de demander un financement institutionnel, d'être évalué positivement par leurs collègues et d'acquérir une image sociale positive en étudiant des organismes charismatiques. Combien de fois ai-je ainsi perçu des grimaces de dégoût ou des sourires condescendants lorsque j'expliquais étudier l'évolution des insectes alors qu'une même carrière basée sur l'étude des éléphants ou des tigres m'aurait valu l'aura d'un Livingstone moderne ... Par voie de conséquence, certains grands groupes d'organismes pourtant extrêmement importants pour notre environnement et notre vie quotidienne continuent à être méconnus tandis que les données continuent de s'accumuler sur d'autres groupes d'animaux. Le problème n'est pas tant que l'on étudie beaucoup les oiseaux (ils sont très importants à de nombreux égards !) mais que l'on n'étudie pas assez les Insectes ou autres groupes méconnus, dont l'importance écologique est pourtant fondamentale.

Cette brève énumération de ce qui nous lie affectivement et psychologiquement au vivant montre que nous ne voyons que ce que nous ressentons comme important : nous ressentons de l'empathie pour ce qui nous est proche, nous sommes avides de rareté, et nous confondons visibilité médiatique et abondance réelle. D'après une étude récente, le charisme médiatique des animaux est sous-tendu par des caractéristiques d'apparence souvent subjectives outre la rareté, telles que beauté, caractère imposant ou mignon, vulnérabilité, dangerosité¹⁰⁹. C'est ainsi le cas du grand arbre, charismatique par sa

¹⁰⁷ <https://www.gbif.org/fr/>

¹⁰⁸ Troudet J., Grandcolas P., Blin A., Vignes-Lebbe R. & Legendre F. (2017). Taxonomic bias in biodiversity data and societal preferences. *Scientific Reports*, 7, 9132.

¹⁰⁹ Albert C., Luque G.M. & Courchamp F. (2018). The twenty most charismatic species. *PLoS ONE*, 13, e0199149.

taille, à défaut d'attirer notre empathie en tant que proche cousin. Je rajouterai pour ma part nos représentations sociétales positives d'utilité ou de confort, directement ressenties ou largement médiatisées : on va aimer l'abeille pollinisatrice qui nous « donne » le miel, le ver de terre qui aère nos sols, l'arbre qui nous abrite du soleil, l'herbe sur laquelle il fait bon s'allonger en été, etc. Le problème n'est pas d'aimer ou de détester en soi, la passion étant souvent le moteur de l'intellect ou de la curiosité ! Le problème est que le charisme de telle ou telle espèce nous empêche de saisir la dualité de leurs rôles dans les écosystèmes. Il n'y a ni anges ni démons dans la biodiversité ; koala ou cafard, nous n'avons pas à choisir. Telle moustique des genres *Aedes* ou *Anopheles* est responsable de millions de morts dans le monde parce qu'ils nous transmettent des pathogènes. Mais ces quelques espèces vectrices représentent à peine 1% de plus de 3500 espèces de moustiques, dont la plupart servent de nourriture aux poissons et oiseaux qui sont indispensables parce qu'ils régulent l'abondance des Insectes dans les écosystèmes¹¹⁰. Les abeilles domestiques ont une image entièrement positive : ces infatigables travailleuses associées à l'été et aux fleurs pollinisent les plantes et nous fournissent le miel, un aliment aux innombrables vertus. Mais cette espèce domestiquée, à la génétique des populations souvent appauvrie par de médiocres pratiques d'élevage, peut aussi avoir un impact négatif sur l'environnement. Introduites ici ou là par dizaines de ruches comportant chacune comptant jusqu'à 50000 individus, elles peuvent écraser les abeilles sauvages autochtones (900 espèces en France métropolitaine), pollinisatrices parfois indispensables de bien des fleurs inaccessibles aux abeilles domestiques (leur action représente au moins un quart de ce service écosystémique dans le monde). En milieu urbain où les ruches deviennent à la mode et symbole de nature bienfaisante, il n'est pas rare que la charge considérable en abeilles domestiques dépasse aussi les disponibilités en pollen et nectar ...¹¹¹ Sans parler des zones où l'abeille domestique n'existait pas naturellement et où son introduction a causé des ravages sur les abeilles natives, comme en Nouvelle-Calédonie¹¹². Nous avons du mal pour autant à voir les « gentilles » et bénéfiques abeilles comme des animaux

¹¹⁰ Jactel, H. et al. (2020). Insect decline: immediate action is needed. *Comptes Rendus Biologies*, 343, 267-293.

¹¹¹ Ropars, L., Dajoz, I., Fontaine, C., Muratet, A., & Geslin, B. (2019). Wild pollinator activity negatively related to honey bee colony densities in urban context. *PloS one*, 14(9), e0222316.

¹¹² Kato M. & Kawakita A. (2004). Plant-pollinator interactions in New Caledonia influenced by introduced honey bees. *American Journal of Botany*, 91, 1814-1827.

domestiques mal conduits et déprédateurs, tels que par exemple des moutons en trop grande densité qui raserait une végétation fragile par surpâturage. Et c'est pourtant ce qui arrive assez souvent, avec quelquefois en corollaire la diminution du service de pollinisation !¹¹³

Ces deux cas d'espèces montrent bien qu'aucun organisme n'est entièrement « bon » ou « mauvais », ni en regard des services qu'il nous rend ni en regard des dommages qu'il nous cause. Le charisme de certains animaux ou leur image au contraire foncièrement négative ne doit pas nous faire oublier que leur présence dans les écosystèmes devrait être considérée dans le cadre de la préservation d'équilibres naturels. Cette présence devrait être au mieux laissée au gré des régulations naturelles quand il est possible, facilitant ainsi la gestion d'écosystèmes positive sur le long terme. Il suffit de comparer par exemple les réserves forestières de la forêt de Fontainebleau (où l'homme n'intervient pas ou peu depuis des décennies) avec des parcelles sylvicoles adjacentes, passablement déséquilibrées et d'allure malade pour comprendre que les équilibres naturels sont nos meilleurs alliés. S'ils ne sont pas gardés à l'écart de toute action humaine dans un espace de réserve qu'il convient d'augmenter, les écosystèmes devraient au moins être gérés en pleine connaissance de cause des relations écologiques entre espèces et environnement, sans manichéisme ni affect excessif. Quelquefois, la bonne gestion d'un écosystème consisterait à laisser se produire des effets négatifs à court terme pour l'espèce humaine mais à les neutraliser par des mécanismes de compensation économique mutualiste (assurances coopératives agricoles par exemple¹¹⁴) plutôt que d'intervenir lourdement en créant pollutions et effets cascades négatifs¹¹⁵.

Et pourtant elle évolue !

¹¹³ Angelella G.M., McCullough C.T. & O'Rourke M.E. (2021). Honey bee hives decrease wild bee abundance, species richness, and fruit count on farms regardless of wildflower strips. *Scientific Reports*, 11, 3202.

¹¹⁴ Furlan L. et al. (2018). An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 3: alternatives to systemic insecticides. *Environmental Science and Pollution Research*.

¹¹⁵ Foucart, S. (2018). *Et le monde devint silencieux - Comment l'agrochimie a détruit les insectes*. Le Seuil, Paris.

La biodiversité n'est pas que fonctionnelle, les traits figés dans une sorte de stase longue de millions d'années, depuis le temps des dinosaures ou des hommes préhistoriques ! Sa capacité à évoluer très rapidement est généralement méconnue, peut-être parce qu'elle nous est imperceptible. Même le discours politique international sur la biodiversité fait totalement l'impasse sur cette capacité évolutive de la biodiversité et sur les mécanismes de son origine. Ainsi la Convention sur la Diversité Biologique rassemblant presque 200 pays signataires utilise-t-elle une définition se bornant à constater la diversité à différentes échelles intra-espèces, inter-espèces et écosystèmes. Peut-être est-ce une manière d'obtenir un consensus international parmi des pays dont beaucoup n'ont guère de sympathie pour la théorie de l'évolution ? Ou bien cette absence de référence à l'évolution découle-t-elle tout simplement du ressenti général des humains pour qui « théorie de l'évolution » renvoie à des stéréotypes et à des échelles de temps de millions d'années, avec des organismes porte-étendards – dinosaures ou hommes préhistoriques – aujourd'hui à l'état de fossiles ?

Faire une requête sur un moteur de recherche du web avec le mot « évolution » amène inmanquablement à sélectionner l'image très naïve d'une progression évolutive au sein des primates, depuis le chimpanzé jusqu'à l'Homo sapiens bipède et outillé en passant par divers hominidae fossiles se redressant peu à peu. Cette image illustre bien la conception de l'évolution la plus fréquente au sein de nos sociétés, conception qui comporte malheureusement au moins trois erreurs fondamentales.

L'évolution n'est pas progrès mais ajustement

Première erreur, l'évolution serait source de « progrès ». Cette conception est dite gradiste car elle figure des grades, c'est à dire des séries évolutives imaginaires, ordonnées artificiellement, sans rapport avec les parentés entre les organismes. Bien que scientifiquement inepte, le gradisme est encore trop fréquent car il est très agréable à l'esprit humain. On range intuitivement les organismes du plus simple au plus complexe, avec peu de rigueur donc avec peu d'efforts, en pensant naïvement que l'on a retracé le cours de l'évolution ! Et, naturellement, on place l'espèce humaine au sommet

de ce grade. Cette conception classificatoire que l'on pourrait qualifier de pré-évolutionniste au sens de l'histoire des sciences a perduré même dans certains écrits précurseurs évolutionnistes comme ceux de Ernst Haeckel, où l'espèce humaine occupe le sommet de l'arbre évolutif du vivant¹¹⁶. Encore aujourd'hui, on peut découvrir ce genre de conception gradiste sous la plume de beaucoup trop de scientifiques. Bien des organismes sont ainsi caricaturés comme étant d'archaïques et médiocres survivants par comparaison avec d'autres supposés plus évolués et efficaces¹¹⁷. Par exemple, les blattes (Insectes Dictyoptères) réputées organismes anciens et indéfectibles sont-elles souvent considérées comme archaïques parmi les insectes, faute de spécialisation alimentaire ou anatomique évidente et aussi du fait de leur abondance dans le registre fossile¹¹⁸. Les fougères ou les mousses sont vues à tort comme précurseurs moins sophistiqués des plantes à fleurs dominant aujourd'hui les écosystèmes¹¹⁹. Ou encore, l'ornithorynque est vu comme une étrange relictte mammalienne ayant retenu nombre de caractéristiques désuètes (un mammifère qui pond des œufs !), et de fait limitée aujourd'hui à un petit espace géographique australien.

Plusieurs raisonnements circulaires ou incohérents sont souvent implicites à toutes ces pseudo-histoires évolutives. Le premier raisonnement met en scène des organismes prétendument archaïques et indestructibles ; les blattes dont on vient de parler en sont un bon exemple. Un groupe d'organismes est ancien dans le registre fossile ; il est présumé archaïque, très souvent sur une absence apparente de spécialisation ou sur le possession de caractères supposés primitifs. Ce groupe est néanmoins abondant de nos jours et cela laisse supposer qu'il a une capacité étonnante à résister à toutes sortes d'adversités. On présume alors que ses traits généralistes ou ses adaptations particulières lui permettent de persister depuis des temps révolus, malgré son archaïsme ... Ce tableau est en fait constellé d'erreurs : on essentialise un vaste groupe d'organismes en pensant que toutes les espèces ont les mêmes caractéristiques ou

¹¹⁶ Durand, T. (2018). *L'ironie de l'évolution*. Le Seuil, Paris.

¹¹⁷ Rigato E. & Minelli A. (2013). The great chain of being is still here. *Evolution: Education and Outreach*, 6, 18.

¹¹⁸ Condamine F.L., Nel A., Grandcolas P. & Legendre F. (2020). Fossil and phylogenetic analyses reveal recurrent periods of diversification and extinction in dictyopteran insects. *Cladistics*, 36, 394-412.

¹¹⁹ McDaniel, S.F., (2021). Bryophytes are not early diverging land plants. *New Phytologist*, 230, 1300-1304.

capacités et qu'il en a été ainsi de tous temps. En réalité, un groupe d'organismes qui s'est individualisé depuis des millions d'années a subi d'innombrables événements de spéciation et d'extinction, et bon nombre de changements évolutifs que l'on ne perçoit pas forcément au premier regard, comme c'est le cas pour les blattes¹²⁰. Supposées résistantes puisque présentes depuis avant le Carbonifère, les blattes sont ainsi présumées à tort n'avoir pas changé depuis ces temps anciens, et le succès domestique de quelques espèces, une situation tout à fait marginale et contemporaine, est prise comme une confirmation de leur prétendu caractère indestructible. Le raisonnement circulaire est ainsi construit ! Outre les Blattes, nombre d'organismes ont été souvent ainsi caricaturés : les conifères Araucariaceae de l'hémisphère Sud, les Gymnospermes Cycadales, autant de groupes de plantes présumés à tort archaïques et relictés alors que les espèces actuelles sont toutes issues d'évènements récents de diversification¹²¹.

Le second raisonnement circulaire caricature des organismes dits relictés et présumés archaïques et fragiles. Certes, les espèces relictés sont les seules survivantes de vastes groupes autrefois diversifiés et aujourd'hui majoritairement éteints. La légende évolutionniste leur prête la caractéristique de s'être individualisées en marge des changements évolutifs majeurs. Par exemple, la lignée des Ornithorhynques ne possède pas la reproduction placentaire des mammifères euthériens, ou les Coelacanthes n'ont pas conquis le milieu terrestre comme leurs cousins Tétrapodes.

Ces espèces semblent aujourd'hui peu abondantes et ne dominent plus les écosystèmes, voire elle sont menacées d'extinction. , ... ce qui amène à présumer de leur nature archaïque et maladaptée, et la boucle du raisonnement circulaire est ainsi bouclée sans que rien n'ait été démontré¹²². Très souvent, ces soi-disant organismes archaïques se portent parfaitement et sont en excellente santé génétique, comme c'est le cas du Coelacanthe ou du Tuatara¹²³. En outre, elles possèdent aussi des innovations évolutives

¹²⁰ Condamine F.L., Nel A., Grandcolas P. & Legendre F. (2020). Fossil and phylogenetic analyses reveal recurrent periods of diversification and extinction in dictyopteran insects. *Cladistics*, 36, 394-412.

¹²¹ Nagalingum N.S., Marshall C.R., Quental T.B., Rai H.S., Little D.P., Mathews S. (2011). Recent synchronous radiation of a living fossil. *Science*, 334:796-9.

¹²² Grandcolas P., Nattier R. & Trewick S.A. (2014). Relict species: a relict concept? *Trends in Ecology & Evolution*, 29, 655-663.

¹²³ Casane D. & Laurenti P. (2013). Why coelacanth are not 'living fossils'. *BioEssays*, 35, 332-338.
Hay, J.M. et al. (2008) Rapid molecular evolution in a living fossil. *Trends Genet.* 24, 106-109.

originales que leurs cousins présumés plus évolués n'ont pas développées. Ainsi les Ornithorhynques ont-ils un venin original, ni reptilien, ni mammalien et les Coelacanthes ont-ils des poumons transformés en ballasts graisseux en plongée profonde. Leur seul problème n'a rien à voir avec leur bonne santé génétique et évolutive mais vient plutôt de notre action dévastatrice sur leur écosystème de prédilection. Comble de l'erreur, nous considérons des relictés dites primitives comme de trop fragiles « survivants » condamnées à l'extinction ... parce que nous les maltraitons aujourd'hui au point de les mettre en danger !

Pour conclure sur ce sujet, l'évolution n'est donc pas source de progrès à proprement parler, avec des ancêtres archaïques ou mal fichus dont certains survivraient péniblement sous forme de relictés, tandis que d'autres organismes plus modernes caracoleraient dans nos écosystèmes, dopés par d'efficaces adaptations !¹²⁴ En réalité, l'évolution est source d'ajustement à l'environnement en bricolant ses adaptations à partir d'états ancestraux dans chaque lignée, comme l'a formulé un prix Nobel dans une expression restée depuis célèbre¹²⁵. Aucune innovation évolutive ne garantit un avantage absolument durable à un organisme : une innovation garantissant survie et reproduction – en d'autres termes une adaptation – à un organisme à un moment donné pourra devenir désavantageuse ou obsolète avec un changement de l'environnement. Il n'y a pas d'organismes « supérieurs » résultant d'un progrès, mais seulement des organismes suffisamment adaptés à une gamme de situations existantes pour survivre momentanément avec succès. L'évolution avec adaptation n'est rien d'autre qu'un ajustement incessant à un environnement changeant. Cette mise au point permet aussi de mieux comprendre ce que c'est qu'une crise d'extinction : quand le changement environnemental est si rapide et si fort qu'aucune capacité évolutive intrinsèque des organismes n'est capable de permettre à bon nombre d'entre eux de s'y ajuster, cela amène au déclin de ces organismes voire à leur extinction en masse.

L'évolution procède par tri des individus, pas des espèces

¹²⁴ Durand, T. (2018). *L'ironie de l'évolution*. Le Seuil, Paris.

¹²⁵ Jacob F. (1977). Evolution and tinkering. *Science*, 196, 1161-1166.

Deuxième erreur, on lit souvent que l'évolution procéderait par transformation des espèces, ce que tente de figurer le fameux grade pittoresque et fallacieux, chimpanzé -> espèces préhistoriques d'Hominidae -> *Homo sapiens*. Cette erreur très commune a malheureusement été encouragée par le titre mal interprété du célèbre livre de Charles Darwin, « l'origine des espèces » (*On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*). En réalité, comme Darwin lui-même a été un des premiers à le reconnaître, l'évolution prend place au niveau individuel : des individus aux capacités et caractéristiques différentes vont avoir des succès reproducteurs différents. Ceux qui survivent mieux et se reproduisent plus permettront à leurs caractéristiques génétiques et héréditaires de se répandre avec leurs nombreux descendants et dominer ainsi peu à peu les populations. La reproduction sexuée entre des individus différents est la première étape de cette évolution, parce qu'elle va mélanger leurs génomes, en produisant des descendants déjà composites, aux caractéristiques potentiellement différentes de celles d'un des deux parents. Suivant notre propre modèle et celui de nombreux Eukaryotes, nous imaginons que la dualité mâle-femelle est une règle d'or dans le vivant, et pourtant de nombreuses algues ou champignons procèdent autrement avec plusieurs types sexuels incompatibles¹²⁶. Parler de sexe entraîne souvent plus loin qu'on ne le voudrait ... et il faudrait donc également évoquer le cas des procaryotes (bactéries, cyanophycées) encore moins compatibles avec notre vision anthropocentrique du vivant : division asexuée par scission en deux individus, ou échange d'un peu de matériel génétique entre deux individus (conjugaison).

Des individus (eukaryotes) compatibles sur plan de l'anatomie, du comportement et de la génétique seront ainsi capables de se reproduire ensemble et constitueront une communauté de reproduction et d'héritage que l'on appelle communément une « espèce ». Ces réseaux de relations de reproduction entre individus sont difficiles à retracer. Ils sont quelquefois connus parce qu'une population de grands vertébrés, par exemple, a été suivie au jour le jour. Le plus souvent, seules des informations très indirectes peuvent être obtenues grâce à l'étude de marqueurs génétiques et permettent de retracer des généalogies approximatives au sein de vastes populations. Ces

¹²⁶ Billiard S. et al. 2011. Having sex, yes, but with whom? Inferences from fungi on the evolution of anisogamy and mating types. *Biological Reviews*, 86, 421-442.

informations généalogiques ou génétiques ne sont évidemment pas disponibles pour la plupart des deux millions d'organismes décrits par la science. Dans la plupart des cas, les scientifiques se contentent de rassembler des individus d'après leur similarité apparente et appellent ainsi d'un même nom d'espèce des organismes qui se ressemblent par tous les détails possibles, et des tests statistiques peuvent être conduits pour juger du degré de cette ressemblance phénotypique ou génétique.

Contrairement à une croyance très répandue, des espèces même bien caractérisées génétiquement ne sont pas des groupes fermés d'individus et les hybridations entre des individus appartenant à des espèces différentes sont très fréquentes. Près d'un quart des « espèces » de plantes au Royaume Uni sont ainsi capables de s'hybrider, 16% des espèces de papillons en Europe, 9% des espèces de oiseaux dans le monde, et 6% des espèces de mammifères en Europe¹²⁷. Sans parler des cas de transfert ponctuel de matériel génétique étranger (virus, etc.) Chez les bactéries, la situation est encore moins nette et des échanges génétiques peuvent advenir chez des bactéries non étroitement apparentées par conjugaison (contact et échange de plasmides), transformation (récupération et incorporation d'ADN libre) ou via des virus bactériophages (transduction).

Ce n'est donc pas une espèce qui se transforme en une autre au cours de l'évolution, mais des individus qui naissent avec des constitutions génétiques modifiées de génération en génération et capables parfois de se reproduire avec des individus moins étroitement apparentés. Cette vision trompeuse de l'évolution par transformation des espèces a laissé à penser que le processus évolutif se passerait sur le très long terme nécessaire à cette lente transformation.

Les noms savants donnés aux espèces ne doivent pas nous abuser ; ce ne sont que des facilités ou des raccourcis de langage pour désigner des ensembles d'individus interféconds descendant d'un même ancêtre commun aux limites souvent difficiles à

¹²⁷ Mallet J. (2008). Hybridization, ecological races and the nature of species: empirical evidence for the ease of speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 2971-2986.

préciser¹²⁸. Les épistémologues disent d'ailleurs que la définition des espèces est intensionnelle : elle repose sur une diagnose – une définition théorique des caractères d'une espèce, permettant d'y assigner des individus observés ici ou là. Cette définition n'est donc pas extensionnelle, par énumération exhaustive des individus participant à une espèce. L'énumération serait impossible autant au plan pratique, du fait des trop nombreux individus, qu'au plan théorique, du fait l'impossibilité de circonscrire exactement une espèce.

En matière de vitesse d'évolution et de capacité à évoluer, de nombreuses études récentes montrent que des modifications évolutives substantielles peuvent prendre place sous nos yeux en quelques années. La résistance aux antibiotiques peut malheureusement apparaître en quelques années dans des populations bactériennes, de même pour la résistance aux pesticides dans des populations d'insectes. Une étude récente a montré ainsi que la forme du bec et les gènes impliqués chez les mésanges du Royaume Uni et des Pays Bas ont changé suite à la sélection exercée involontairement par des mangeoires différentes !¹²⁹ Une autre étude a montré qu'une plante chinoise montagnarde utilisée en médecine traditionnelle a changé de coloration ces dernières années, une modification vraisemblablement sélectionnée sous la pression exercée par les collecteurs qui ramassent les plantes les plus visibles, contrastant avec la couleur du sol, favorisant ainsi celles qui sont moins visibles¹³⁰. Ou encore un autre exemple, en douze générations, un petit pissenlit poussant au sol à la base des arbres en ville a évolué avec des graines plus lourdes tombant in situ au lieu de se disperser à perte vers le bitume avoisinant¹³¹. Cette brève énumération ne pourrait s'achever sans mentionner un exemple classique d'évolution, qui a figuré dans bien des manuels et qu'il faudrait à nouveau fortement vulgariser : c'est le phénomène évolutif du mélanisme industriel chez la phalène du bouleau. Ce papillon des zones tempérées de l'hémisphère Nord a les

¹²⁸ Grandcolas. P. (2018). The Living Species is Not a Natural Kind but an Intellectual Construction. In : Life Sciences, Information Sciences. Thierry Gaudin, Dominique Lacroix, Marie-Christine Maurel & Jean-Charles Pomerol (eds.) ISTE and John Wiley & Sons, Inc. pp.125-137.

¹²⁹ Bosse, M., Spurgin, L. G., Laine, V. N., Cole, E. F., Firth, J. A., Gienapp, P., Gosler, A. G., McMahon, K., Poissant, J., Verhagen, I., Groenen, M. A. M., van Oers, K., Sheldon, B. C., Visser, M. E., Slate, J. 2017. Recent natural selection causes adaptive evolution of an avian polygenic trait. *Science* 358, 365-368.

¹³⁰ Niu Y., Stevens M. & Sun H. Commercial Harvesting Has Driven the Evolution of Camouflage in an Alpine Plant. *Current Biology*.

¹³¹ Cheptou, P. O., Carrue, O., Rouifed, S., & Cantarel, A. (2008). Rapid evolution of seed dispersal in an urban environment in the weed *Crepis sancta*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(10), 3796-3799.

ailles ponctuées grises et blanches lui permettant d'éviter la prédation par les oiseaux, car il ressemble à l'écorce des bouleaux sur lesquels il se pose. Lors de la pollution industrielle par la combustion du charbon, les écorces claires de bouleaux étaient noircies par les suies et un variant génétique foncé – dit mélanique – de la phalène, moins prédaté par les oiseaux, a bientôt dominé les populations aux dépens du variant antérieur plus clair facilement repérable sur des troncs noircis. Cet exemple d'évolution rapide est tellement démonstratif qu'il a souvent été la cible de critiques anti-évolutionnistes, le taxant à tort de faiblesse scientifique ou de simplisme¹³².

L'émergence de populations entières différenciées et considérées comme espèces ou sous-espèces évolutivement nouvelles s'est faite également quelquefois très rapidement. On peut citer le cas des moustiques impliqués dans des maladies humaines. Ainsi *Culex pipiens molestus* s'est apparemment différencié à l'occasion du creusement du métro londonien, et a acquis en sous-sol la capacité à piquer les humains et les rats plutôt que les oiseaux ; il peuple aujourd'hui les métros du monde¹³³. *Aedes aegypti formosus* s'est également différencié très récemment et forme aujourd'hui un ensemble de populations envahissantes périurbaines dans le monde ; il est maintenant enclin à piquer surtout les humains, plus que les populations parentes africaines identifiées sous le nom d' *Aedes aegypti aegypti*¹³⁴. L'espèce humaine a ainsi fait émerger ce que l'on appelle des espèces nouvelles avec le développement des milieux urbains et des transports internationaux. Ce phénomène a également pris place du fait de la sélection involontaire exercée lors de la fabrication d'aliments. Nous avons ainsi aujourd'hui deux champignons microscopiques, *Penicilium camemberti* et *P. roqueforti*, respectivement inféodés et utilisés pour le camembert (c'est la croûte blanche cotoneuse et odorante de ce fromage) et le roquefort (c'est le le bleu de cet autre fromage), champignons qui semblent avoir évolué à partir d'un ancêtre récent exploitant les pailles et herbes sur lesquels ces

¹³² Majerus M.E.N. (2009). Industrial Melanism in the Peppered Moth, *Biston betularia*: An Excellent Teaching Example of Darwinian Evolution in Action. *Evolution: Education and Outreach*, 2, 63-74.

¹³³ Fonseca D.M., Keyghobadi N., Malcolm C.A., Mehmet C., Schaffner F., Mogi M., Fleischer R.C. & Wilkerson R.C. (2004). Emerging Vectors in the *Culex pipiens* Complex. *Science*, 303, 1535.

¹³⁴ Aubry F. et al. (2020). Enhanced Zika virus susceptibility of globally invasive *Aedes aegypti* populations. *Science*, 370, 991.

fromages sont déposés pour affinage¹³⁵. Comprendre la biologie de telles espèces dont l'individualisation s'est opérée suite à l'action humaine est de fait extrêmement importante pour nos sociétés. Un moustique des villes ou infrastructures humaines est un très encombrant et trop fidèle vecteur de pathogènes qui suit étroitement nos habitats. Un champignon du fromage est un partenaire dont l'évolution conditionne la qualité constante de productions alimentaires aujourd'hui industrielles. Dans tous ces cas, l'évolution s'est déroulée à une courte échelle de temps, très différentes des millions d'années à laquelle elle est associée intuitivement dans la plupart de nos esprits !

La lutte pour la survie n'est pas forcément compétition

Troisième erreur, l'évolution est souvent perçue à tort comme synonyme de compétition effrénée dans un enfer (vert !) où seul « le plus apte » – dans les esprits, le plus fort, le plus compétiteur ou le plus féroce – survivrait. On a caricaturé ainsi la pensée de Charles Darwin¹³⁶ depuis l'époque de ses contemporains jusqu'à aujourd'hui. Du vivant de Darwin, l'économiste Herbert Spencer, croit capturer sa pensée avec la fameuse formule « the survival of the fittest », la « survie du plus ajusté » souvent traduite par « la survie du plus apte » qui laisse à penser que le plus fort et le meilleur compétiteur va survivre mieux, évoluer vers plus de complexité et de performance et faire « progresser » le vivant, dans une vision naïvement téléologique. Il donne ainsi naissance à ce que l'on appelle le darwinisme social, une doctrine économique et sociale naïve qui plaide pour un progrès et un fonctionnement efficace de l'humanité, basé sur la compétition et la sélection des plus forts. Cette doctrine préfigure le libéralisme économique au sens strict, voire l'eugénisme. L'appellation « darwinisme social » est impropre car Charles Darwin, un homme aux conceptions morales avancées à son époque, n'a pas accepté cette doctrine. La formule célèbre « the survival of the fittest » est d'autant plus maladroite qu'elle peut aussi être traduite par la « survie du plus apte, ou du plus

¹³⁵ Ropars, J., Dupont, J., Fontanillas, E., de la Vega, R. C. R., Malagnac, F., Coton, M., ... & López-Villavicencio, M. (2012). Sex in cheese: evidence for sexuality in the fungus *Penicillium roqueforti*. *PLoS One*, 7(11), e49665.

¹³⁶ Darwin (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. John Murray, London.

adapté », de manière tautologique. Si l'on est plus adapté, on survit mieux et si l'on survit mieux, c'est que l'on plus adapté ... on tourne en rond¹³⁷.

Assez tardivement, Darwin a malheureusement endossé cette formule malgré sa mauvaise opinion des travaux et des conséquences sociales des théories de Spencer, probablement parce qu'elle permettait de mieux convaincre ses contemporains de la réalité de la sélection naturelle, une appellation qui, semble-t-il, peinait à convaincre, d'après le propre sentiment de son auteur¹³⁸. Rappelons que le terme « sélection naturelle » est une métaphore créée par Darwin en référence au terme « sélection » employé autrefois uniquement dans le contexte de la domestication, où l'éleveur sélectionnait les individus reproducteurs les plus conformes à ses desiderata.

Ces mauvaises formulations comme « la survie du plus apte » ont eu un écho durable, y compris dans le monde de la biologie de l'évolution, où la compétition était vue assez dogmatiquement comme la force dominante de l'évolution et de l'organisation des écosystèmes jusqu'à il y a encore quelques décennies. En réalité, ce que la théorie darwinienne de l'évolution montre aujourd'hui, c'est que des variants génétiques apparaissent dans toutes les populations, à la suite de changements génétiques variés. Les sources de ces changements sont plus diverses qu'on ne le dit ordinairement : outre les mutations sensu stricto (erreurs de copie de l'ADN, support de l'hérédité), on peut citer brièvement les recombinaisons des chromosomes portant l'ADN, l'incorporation de matériel génétique mobile (les fameux transposons ou gène sauteurs) ou de matériel exotique d'origine virale, etc. Parmi les variants qui résultent de ces changements, certains survivent mieux et se répandent dans les populations, changeant leur constitution génétique et les phénotypes qui en dépendent. Il y a donc héritage avec modification des caractéristiques génétiques et phénotypiques, c'est à dire évolution ! Si la généralisation des caractères dans les génomes des apparentés dépend principalement de la survie et reproduction différentielle des individus qui les portent, elle peut aussi avoir une composante partiellement stochastique¹³⁹.

¹³⁷ Grandcolas P. (2015). Adaptation. In: *Handbook of Evolutionary Thinking in the Sciences* (eds. Hearn T, Huneman P, Lecointre G & Silberstein M). Springer Berlin, pp. 77-93.

¹³⁸ Paul, D. B. (1988). The selection of the "Survival of the Fittest". *Journal of the History of Biology*, 21(3), 411-424.

¹³⁹ Kimura M., « Evolutionary rate at the molecular level. » *Nature*, 217(5129), p. 624-626, 1968.

Il faut bien comprendre que les individus à la meilleure survie et reproduction ne sont pas nécessairement les meilleurs compétiteurs ou les plus forts, ils peuvent tout simplement être plus performants pour des tâches non compétitives (par exemple, se nourrir sur une ressource abondante), ou plus économes en énergie pour certaines tâches (ce qui en laisse d'avantage pour leur reproduction ou leur immunité, par exemple), ou encore mieux se dissimuler des prédateurs et autres antagonistes. Très souvent, des individus médiocres compétiteurs peuvent tout simplement pratiquer un mutualisme fructueux avec d'autres organismes et trouver ainsi de bien meilleures possibilités de survie et de reproduction. Comme je l'ai déjà souligné, tout le vivant est en interaction et aucun organisme n'est seul, le mutualisme ou la symbiose est la règle autant sinon plus que la compétition, les deux agissant souvent en combinaison complexe¹⁴⁰.

Comme on peut le voir, l'évolution biologique est un sujet qu'il est difficile d'aborder avec une compréhension naturelle et intuitive¹⁴¹. Souvent considérée comme un phénomène agissant sur des échelles de temps considérables, elle peut en réalité être très rapide et nous affecter directement. Les populations sont en fait très plastiques, et relâcher ou exercer une pression de sélection peut amener à des changements évolutifs forts et importants en quelques générations et quelques années. L'évolution ne procède donc pas tant d'une lente transformation des espèces que d'une diffusion rapide de modifications héréditaires dans les populations. Si ces modifications sont décisives ou nombreuses, on verra alors émerger un ensemble différencié que l'on appellera une nouvelle espèce. Être un organisme adapté ne signifie donc pas posséder l'attribut guerrier du parfait petit compétiteur ! Toute adaptation ne durera en outre que le temps d'un environnement concordant : il n'y a donc pas d'amélioration ou de progression évolutive dans l'absolu. C'est ce que nous enseigne l'étude des crises d'extinction, au moment desquelles l'environnement évolue infiniment plus vite que les capacités de changement adaptatif des organismes : ces derniers disparaissent faute d'ajustement au changement rapide du milieu environnant.

¹⁴⁰ Bascompte J. (2019). Mutualism and biodiversity. *Current Biology*, 29, R467-R470.

¹⁴¹ Durand, T. (2018). *L'ironie de l'évolution*. Le Seuil, Paris.

Même si l'évolution peut être vraiment très rapide à l'échelle humaine et ne relève pas nécessairement de l'échelle du millier ou du million d'années, elle ne sera pour autant pas toujours perçue, un peu comme le mouvement des aiguilles d'une montre que l'on ne remarque pas avec un rapide coup d'œil sur le cadran. Et pourtant, il faut absolument prendre en compte la plasticité évolutive du vivant qui peut aussi bien nous venir en aide, par exemple avec la domestication - fabriquer des lignées d'organismes qui nous sont utiles -, que nous poser de graves problèmes par exemple avec l'antibiorésistance. La capacité à évoluer pourrait même être considérée comme le propre du vivant, plus que tout autre caractéristique.

La biodiversité de synthèse n'échappe à l'évolution !

Dans un accès d'intense anthropocentrisme, nous avons créé des organismes dits de synthèse, par modification (OGM) ou forçage génétique pour les introduire dans l'environnement. Face à l'incroyable diversité du vivant, si difficile à gérer avec sa plasticité et sa capacité à évoluer, et après nos succès dans pas mal de cas de domestication, nous aurions du avoir d'autres priorités que d'introduire de nouveaux joueurs dans une partie déjà compliquée, avec ces fameux organismes de synthèse. Qu'importe, c'est fait et il faut maintenant faire avec ! Des plantes de culture OGM sont en plein champ sur plusieurs continents et des moustiques résultant de forçage sont relâchés en Australie. Ces expériences méconnaissent généralement la diversité du vivant et ses capacités d'évolution dans l'environnement. Ainsi, les pollens des plantes OGM peuvent voyager très loin permettant des pollutions génétiques, pouvant amener des gènes producteurs de toxines à être exprimés dans leurs espèces apparentées sauvages (par exemple le colza et les moutardes sauvages)¹⁴². Des plantes OGM cultivées produisant leur propre insecticide ne font que reproduire la recette idiote de la graine enrobée qui distille son poison systémique à tout va, sans cibler d'organismes ennemis, en tuant les pollinisateurs et autres auxiliaires et en polluant durablement

¹⁴² Klein E.K., Lavigne C., Picault H., Renard M. & Gouyon P.-H. (2006). Pollen dispersal of oilseed rape: estimation of the dispersal function and effects of field dimension. *Journal of Applied Ecology*, 43, 141-151.

l'environnement¹⁴³. En outre, le développement de résistances physiologiques, par exemple des insectes à des insecticides endogènes de plantes modifiées, est tout aussi fréquente qu'à la suite d'épandages classiques. Un organisme OGM n'est pas plus immune à l'évolution de ses antagonistes que n'importe quel autre. On pollue donc beaucoup pour un résultat très médiocre¹⁴⁴. La lutte contre la vexion de maladies par les moustiques a aussi été le théâtre d'efforts importants basés sur la transformation ou le forçage. Là encore, il faut considérer que les moustiques risquent d'échanger des gènes entre espèces voisines, l'une modifiée et l'autre sauvage. Les femelles confrontées à des mâles modifiés pour donner une descendance stérile peuvent évoluer dans leur préférences de choix. Et enfin, les moustiques manipulés par des bactéries endocellulaires introduites peuvent tous deux évoluer également dans leur relation. Autant de potentialités qui ne sont pas anodines et qui représentent des prises de risque énormes pour les humains¹⁴⁵.

La situation créée par ces introductions dans la nature n'est pas figée, sans capacité d'évolution biologique, comme certains imaginent la biodiversité. Autant la biologie de synthèse est un outil extraordinaire de connaissance utilisé depuis longtemps et en routine au laboratoire pour comprendre le fonctionnement des organismes, autant sa contribution à la gestion de l'environnement et de la biodiversité reste chaotique et malheureusement peu connaisseuse du potentiel évolutif spontané des organismes.

¹⁴³ Icoz I. & Stotzky G. (2008). Fate and effects of insect-resistant Bt crops in soil ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 559-586.

¹⁴⁴ Obrycki J.J., Losey J.E., Taylor O.R. & Jesse L.C.H. (2001). Transgenic Insecticidal Corn: Beyond Insecticidal Toxicity to Ecological Complexity: Analysis of transgenic insecticidal corn developed for lepidopteran pests reveals that the potential benefits of crop genetic engineering for insect pest management may not outweigh the potential ecological and economic risks. *BioScience*, 51, 353-361.

¹⁴⁵ Alizon, S. (2020). *Evolution, écologie et pandémies. Faire dialoguer Pasteur et Darwin*. Points Sciences, Paris.

La crise de la biodiversité : vrai désastre ou prophétie de malheur ?

Comment encore ne pas comprendre ce qui nous arrive, au vu de nos impacts humains colossaux sur l'environnement ? Nous façonnons le globe terrestre, au point qu'aujourd'hui animaux domestiques et humains représentent plus de 80% de la biomasse de vertébrés terrestres à la surface du globe, biomasse qui a quintuplé en 40 ans¹⁴⁶! Plus d'un tiers de la surface du globe est lieu de culture ou d'élevage. La masse de nos constructions dépasse celle de la biomasse entière à la surface du globe¹⁴⁷. Nous convertissons les milieux qu'il s'agisse de forêts ou d'autres milieux, nous prélevons sans vergogne poissons ou bois, nous polluons avec les pesticides ou le plastique, nous perturbons le climat et nous introduisons des espèces exotiques par milliers. Tout cela à l'échelle de quelques décennies ! Le monde des années 60 est déjà révolu : le rythme et l'ampleur de nos activités destructrices se sont emballés et nous menacent directement¹⁴⁸.

Toutes les suivis de populations et toutes les évaluations montrent que nous vivons une crise majeure de la biodiversité, au moins aussi grave que celle du climat. Et pourtant cette crise a longtemps été négligée dans les médias. Une étude publiée en 2018 montre ainsi que la couverture médiatique de la crise de la biodiversité est huit fois moindre que celle de la crise du climat, impliquant vraisemblablement une attention politique également moindre¹⁴⁹. Récemment, le même constat a été fait à propos du déclin des

¹⁴⁶ Bar-On Y.M., Phillips R. & Milo R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, 6506.

¹⁴⁷ Elhacham E., Ben-Uri L., Grozovski J., Bar-On Y.M. & Milo R. (2020). Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature*, 588, 442-444.

¹⁴⁸ Ripple W.J., Wolf C., Newsome T.M., Barnard P. & Moomaw W.R. (2020). World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience*, 70, 8-12.

¹⁴⁹ Legagneux P. et al. (2018). Our House Is Burning: Discrepancy in Climate Change vs. Biodiversity Coverage in the Media as Compared to Scientific Literature. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 175.

pollinisateurs, un phénomène d'une gravité inouïe, qui met en péril les trois quarts de nos productions agricoles mais qui a pourtant du mal à s'imposer dans les médias¹⁵⁰.

L'IPBES (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques), qui est à la biodiversité ce que le GIEC (IPCC en anglais) est au climat, a rendu une évaluation collective en 2019, qui montre à quel point la situation est grave¹⁵¹. Le communiqué de l'IPBES a mis en avant le risque d'extinction majeur encouru, concernant un million d'espèces sur les dix millions existantes (dont seulement deux millions environ sont connus). Il est parfaitement logique de mettre l'emphase sur le phénomène de l'extinction en ce qui concerne une crise, c'est à dire un événement environnemental violent pendant lequel de nombreux organismes sont affectés, déclinent voire disparaissent. Les temps géologiques comptent des centaines de crises mais cinq seulement sont considérées comme majeures depuis la fin de l'ordovicien (445 Ma) à la fin du Crétacé (66 Ma) ; ces cinq crises majeures ont complètement changé la biosphère. De grands nombres d'organismes, quelquefois plus des trois quarts des espèces existantes, ont disparu et des écosystèmes se sont restructurés, généralement à l'échelle de temps de plusieurs millions d'années¹⁵². La dernière crise géologique KT (Crétacé-Tertiaire) est particulièrement célèbre avec notamment la disparition progressive et très médiatisée des dinosaures. Les quatre premières crises semblent avoir été causées par des changements macro-climatiques très lents et très puissants à l'échelle du globe (liés par exemple à la dérive des continents), et la cinquième notamment par la chute d'un gros astéroïde. Notre crise actuelle, la sixième, est bien différente : elle est infiniment plus rapide que les précédentes. Au lieu d'avoir affaire à des circonstances cosmiques qui agissent sur des centaines de milliers voire des millions d'années, nous subissons les conséquences d'un phénomène comparable en quelques décennies.

Nous sommes huit milliards d'humains dévorés par nos dysfonctionnements et nos passions, prenant lentement conscience de notre action colossale et délétère.

¹⁵⁰ Althaus S.L., Berenbaum M.R., Jordan J. & Shalmon D.A. (2021). No buzz for bees: Media coverage of pollinator decline. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118, e2002552117.

¹⁵¹ <https://ipbes.net/news/global-assessment-summary-policymakers-final-version-now-available>

¹⁵² David, B. 2021. A l'aube de la sixième extinction. Comment habiter la terre. Grasset, Paris.

L'évocation de cette crise suite au rapport 2019 de l'IPBES a provoqué toutes sortes de réactions, acquiescements ou silences des gouvernements, atterrement des militants de l'environnement, prise de conscience de décideurs divers mais aussi violents rejets passionnels ; il n'est pas inutile d'examiner sur quelles bases ces dernières réactions – les rejets – ont été émises. Par là, on voit sans doute pourquoi nos sociétés ne se réforment pas assez vite et surtout quelles pédagogies développer pour mieux expliquer les défis actuels auxquels nous sommes confrontés.

Extinction ? Vous avez dit extinction ?

Un des rejets les plus fréquents concerne le terme d' « extinction » qui n'est pas toujours compris voire provoque parfois le rejet du concept même de crise de la biodiversité. Au plan académique, le terme extinction signale la disparition complète d'une espèce. Les scientifiques établissent ces disparitions par des méthodes statistiques car aucune espèce vivante, aussi étudiée soit-elle, ne pourra faire l'objet d'un suivi de chacun de ses individus, permettant d'attester de la mort de son dernier reproducteur. Il ne s'agit donc pas de documenter des faits individuels mais de produire des inférences statistiques sur des tendances au cours du temps, soigneusement cadrées par des protocoles et des tests d'hypothèses. En outre, attester factuellement de l'extinction définitive d'une espèce uniquement par l'absence d'individus serait un problème en soi, car une absence est un « non-fait » : cela revient à ne rien observer et cela pose problème en philosophie des sciences ! Ainsi, ne pas avoir vu de Loup de Tasmanie depuis plusieurs décennies n'est pas une démonstration probante de sa disparition et certains s'entêtent à lui trouver des raisons pour survivre caché, faute de « preuve » de son absence. En réalité, la très longue séquence temporelle d'observations infructueuses et des faisceaux d'arguments variés sur l'environnement, les probabilités d'observations, etc., attestent vraisemblablement de son extinction. Le seul phénomène intéressant concernant le loup de Tasmanie est sa tendance déjà ancienne et inexorable à la raréfaction et à l'effondrement spectaculaire de ses populations, plus encore que sa disparition finale, même si cette dernière semble se vérifier année après année.

L'incompréhension du phénomène de l'extinction signale un problème avec la méthode scientifique. Beaucoup d'entre nous pensons la science de manière incorrecte et naïvement rationaliste : nous pensons souvent que nous devons convoquer des faits matériels comme autant de preuves de ce que nous avançons. C'est ce qui fait le succès de la science expérimentale dans beaucoup d'esprits. Bâtissant des expériences répétables, elle semble s'appuyer sur des preuves matérielles acquises par la réplication standard de situations provoquées et décisives. A l'inverse, le décryptage d'une tendance naturelle ne peut s'appuyer que sur des hypothèses bien construites, des observations adéquates et leur analyse statistique. Elle peut sembler à tort descriptive, si des hypothèses de départ bien formulées ne sous-tendent pas la protocole d'observation. Ainsi, formuler l'hypothèse du déclin d'une espèce sous l'effet de facteurs présumés nécessitera d'observer l'état de ses populations sur un laps de temps, de les mettre en relation avec des points de référence dans le passé, et d'observer en parallèle les facteurs d'influence incriminés (par exemple, usage de pesticides) en contrôlant pour des facteurs de variation qui pourraient se révéler confondants (variation du climat, aménagement de l'environnement, etc.) Et encore faut-il comprendre qu'une corrélation observée dans cette situation entre déclin et facteurs d'influence n'aura de sens qu'en présence de preuves directes des effets des facteurs comme les pesticides sur l'espèce en question, obtenues par exemple par des expériences ou des observations en plein champ. Le célèbre adage « corrélation n'est pas raison » est souvent appelé à la rescousse pour douter de simples tendances corrélées à des facteurs d'influence présumés.

Réfuter une hypothèse comme celle-ci – la tendance ne serait pas corrélée avec le facteur d'influence présumé – permettrait d'avancer en en formulant d'autres différentes ou plus précises, tandis que la corroborer amènerait à se conforter mollement – par induction – avec une certitude non-contredite ; c'est le principe du doute cartésien salutaire, théorisé et clarifié par le philosophe Karl Popper¹⁵³. Pour en convaincre ses élèves, le philosophe Bertrand Russell a forgé la parabole de la dinde inductiviste, popularisée par Alan Chalmers dans un joli livre à succès

¹⁵³ Popper, K. (1954). *The logic of scientific discovery*. Routledge.

d'épistémologie¹⁵⁴ : une dinde inductiviste constate qu'elle est nourrie chaque jour à la même heure quelque soient les circonstances, et elle en tire la certitude d'un destin favorable ... jusqu'au soir du 24 décembre où on lui tranche la gorge. Au demeurant, essayer de conforter une hypothèse par de multiples arguments n'est pas un problème en soi, à condition de comprendre qu'il faut aussi avoir essayé de la détruire de multiples fois sans succès !

Dans quelle mesure sommes nous des dindes inductivistes (sauf votre respect !), convaincus chaque jour de vivre confortablement encore longtemps dans un monde saccagé jusqu'au jour où nous passerons les points de bascule des écosystèmes¹⁵⁵ ? Cet espoir irréfléchi de survivre aux problèmes est souvent lié au paradoxe de l'environnementaliste, qui constate l'amélioration du niveau de vie dans l'espèce humaine grâce aux progrès technologiques malgré la dégradation croissante de l'environnement¹⁵⁶. Ce paradoxe amène à penser que la science et la technologie nous permettront toujours de compenser les problèmes suscités : si elles nous ont permis d'améliorer notre niveau de vie alors que l'environnement est présumé se dégrader, alors la science et la technologie seront certainement capables de régler aussi les problèmes qui surgiront ... Un exemple parfait de ce mode de pensée naïvement optimiste réside dans l'utilisation de drones pollinisateurs dans nos cultures, qui sont censés régler le problème du déclin des pollinisateurs. Bien entendu, cela implique que le maintien voire l'accroissement d'une production agricole donnée se solde par la croissance d'une activité industrielle supplémentaire, la production des drones et de leurs matériaux constitutifs, aux nombreuses externalités négatives !

Le paradoxe de l'environnementaliste est un argument souvent avancé par les économistes qui se plaisent à penser que la croissance peut être infinie dans un monde fini et que nous pourrons toujours trouver une solution productiviste aux problèmes que nous suscitons. C'est certes théoriquement possible, mais à condition que notre monde reste viable, écologiquement parlant, sans une accumulation de coûts marginaux

¹⁵⁴ Chalmers, A. F. (1987). *Qu'est-ce que la science*. La découverte.

¹⁵⁵ Barnosky, A. D. et al. (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*, 486(7401), 52-58.

¹⁵⁶ Raudsepp-Hearne C., Peterson G.D., Tengö M., Bennett E.M., Holland T., Benessaiah K., MacDonald G.K. & Pfeifer L. (2010). Untangling the Environmentalist's Paradox: Why Is Human Well-being Increasing as Ecosystem Services Degrade? *BioScience*, 60, 576-589.

environnementaux exorbitants de nos activités productives ! Et encore faut-il calculer ces coûts en utilisant des indicateurs économiques pertinents, plutôt que le très naïf PIB productiviste¹⁵⁷. Si nous reprenons la solution technologique au déclin des pollinisateurs, il faudra pouvoir maîtriser le coût environnemental des drones pollinisateurs avec le plastique issu du pétrole de leur carrosserie ou l'aluminium de leur armature, les composantes de leur batterie, les métaux rares de leur composants électroniques, etc. Autant d'éléments qui supposent de nombreuses activités extractivistes ou des procédés industriels polluants. Le coût marginal de ces drones risque de précipiter encore les problèmes environnementaux et le déclin futur des pollinisateurs, même s'il compensait momentanément ce déclin dans quelques cultures actuelles. C'est tout le problème d'une fuite en avant technologique face aux graves problèmes environnementaux déjà provoqués.

Une autre dimension de ce paradoxe est qu'il méconnaît la capacité limite des systèmes écologiques¹⁵⁸. La Terre est de surface limitée et nous en exploitons déjà la plus grande partie. Les écosystèmes sont capables de fournir des services en matière de climat, d'eau et de sols fertiles en quantités finies et nos besoins augmentent de manière non linéaire, nous rapprochant à grande vitesse de possibles points de bascule. Prédire ainsi le risque de bascule environnementale suite aux crises du climat et de la biodiversité dans certains cercles amène inmanquablement à être taxé de collapsologue naïf ou de décroissantiste qui nie notre capacité à progresser technologiquement pour résoudre les problèmes à venir. Hélas, ce « progrès » indéniable (parlons plutôt ici d'innovations technologiques) porte souvent en lui les racines des crises environnementales et ne garantit pas nécessairement que notre niveau de vie se maintienne, comme nous venons de le voir. Inutile d'en dire plus à ce sujet, en ces temps de covid-19, une pandémie née dans un des pays où la croissance économique a été la plus forte au monde durant ces dernières années.

Depuis plusieurs décennies maintenant, les écologues étudient la dynamique d'espèces vivantes variées dans des lieux très divers, ses causes, ses modalités. De nombreuses

¹⁵⁷ Laurent, E. (2020). *Et si la santé guidait le monde ? L'espérance de vie vaut mieux que la croissance*. Les liens qui libèrent.

¹⁵⁸ Barnosky, A. D. et al. (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*, 486(7401), 52-58.

séries de questions-réponses en regard de centaines d'hypothèses différentes ont fondé une discipline scientifique qui allie démographie, biogéographie, écologie et conservation¹⁵⁹. Ces études ont ainsi amené les scientifiques à formuler l'hypothèse robuste d'une forte probabilité d'extinction pour des milliers d'espèces de vertébrés¹⁶⁰. L'IPBES a pu étendre ce constat au vivant en examinant la littérature scientifique et formuler ainsi le chiffre d'un million d'espèces en risque d'extinction, chiffre aussitôt douté et moqué par des commentateurs naïvement rationalistes rejetant ce constat jugé alarmiste et mal avéré¹⁶¹. On peut citer en vrac les arguments niant l'extinction : on ne connaît pas toutes les espèces donc comment pourrait on évaluer la proportion de celles en voie d'extinction ; il n'y aurait pas ou peu de preuves effectives d'extinctions d'espèces (juste des indications de menaces sur leur survie) ; des espèces soi-disant disparues seraient redécouvertes et mettraient en doute ces prévisions d'extinction ; et enfin la biodiversité évoluerait plus vite qu'elle ne disparaît comblant ainsi les pertes éventuelles par extinction ; et en finissant par les accusations pures et simples de lobbying catastrophiste pour obtenir des financements dans ce domaine de recherche ...

La plupart de ces arguments reposent sur l'incompréhension des démarches statistiques menée par les scientifiques. Ainsi, il n'est pas besoin de connaître un ensemble de manière exhaustive pour produire une robuste estimation statistique de ses tendances ; pour comprendre ce sujet, chacun devrait se rappeler les études de fonctions asymptotiques des cours de maths au lycée et se rendre compte qu'aucune approche scientifique ne serait possible s'il était nécessaire de disposer d'une connaissance exhaustive de chaque élément d'une série avant de formuler une prévision de tendance. Il faut en effet comprendre que les prévisions d'extinctions d'espèces sont des inférences statistiques et non des faits matériels bruts, comme je l'ai souligné plus haut. Cela explique que certaines espèces que l'on croyait disparues peuvent être observées à nouveau avec de petites populations isolées nouvellement découvertes. Ces espèces resteront néanmoins à la limite de l'extinction.

¹⁵⁹ Staerk J., Conde D.A., Ronget V., Lemaitre J.-F., Gaillard J.-M. & Colchero F. (2019). Performance of generation time approximations for extinction risk assessments. *Journal of Applied Ecology*, 56, 1436-1446.

¹⁶⁰ Ceballos, G., P. R. Ehrlich & R. Dirzo (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (30): E6089-E6096.

¹⁶¹ (2019). Biodiversity centre stage. *Nature Ecology & Evolution*, 3, 861-861.

Certes, la biodiversité évolue effectivement et quelques espèces apparaissent de notre vivant, mais à un rythme infiniment plus lent que la dégradation des peuplements : un million d'espèces ne verront pas le jour d'ici 2050 pour remplacer celles qui auront disparu ou resteront à la limite de l'extinction. Et celles qui apparaissent par évolution ne combleront pas la perte de groupes entiers représentant des millions d'années d'évolution. Peut-on vraiment penser que l'on remplacerait avantageusement une girafe ou un lion par un moustique qui a évolué dans les tunnels des métros ou par un pinson de Darwin récemment apparu suite à une hybridation et restreint à une des îles de l'archipel des Galapagos ?¹⁶² Et enfin, l'argument du lobbying malhonnête qui soutendrait les prises de parole des écologues peut être retourné à bon nombre des négateurs de la crise de la biodiversité, impliqués directement ou indirectement dans l'exploitation industrielle de l'environnement !

Fort heureusement, l'IPBES a produit une explication pédagogique supplémentaire à destination de ces critiques mal posées qui ont surgi à la publication de son rapport en 2019¹⁶³. Mais on le voit, le sujet sophistiqué de la crise d'extinction peut prêter à controverse car il ne fait pas bon ménage avec le prétendu bon sens et un rationalisme naïf, deux méthodes archaïques depuis longtemps bannies par la science. Peut-être faudrait-il remplacer le terme extinction décidément mal compris par les termes de déclin, d'érosion ou d'effondrement ? Mais ces derniers termes, sans doute plus acceptables pour des esprits rétifs, auront sans doute également moins d'impact. Comprendra-t-on qu'un très fort déclin – un effondrement – des populations d'organismes amène à terme à un état tellement proche de l'extinction que la distinction n'a guère lieu d'être. Un déclin n'est pas juste une petite diminution d'effectifs sans conséquences. Après un fort déclin, quelques centaines d'individus restants ne suffisent pas à maintenir durablement les populations d'une espèce dans un environnement changeant, faute de diversité génétique ou de résistance aux aléas environnementaux variés. Le terme extinction marque les esprits car il fait bien comprendre le caractère irréversible de la situation là où déclin ou effondrement pourrait laisser penser aléa

¹⁶² Lamichhane S., Han F., Webster M.T., Andersson L., Grant B.R. & Grant P.R. (2018). Rapid hybrid speciation in Darwin's finches. *Science*, 359, 224.

¹⁶³ <https://ipbes.net/news/million-threatened-species-thirteen-questions-answers>

passager possiblement suivi d'un retour à la normal. Finalement ce débat sémantique¹⁶⁴ correspond à distinguer le danger (grave déclin pour le moment) du risque (extinction si nous ne faisons rien) ou à différencier la réalité actuelle de la prédiction du futur. Un débat assez vain en somme : face à notre maison entièrement en proie aux flammes, nous discutons pour savoir s'il s'agit d'un d'un incendie majeur ou d'une anéantissement !

Au delà des incompréhensions sur le terme et le phénomène d'extinction, la crise de la biodiversité a d'autres dimensions qui paraissent parfois difficiles à intégrer intellectuellement. Tout un chacun croit comprendre le mécanisme de base de la crise du climat : il est facile d'appréhender un effet de serre par analogie avec la chaleur que l'on ressent en s'exposant au soleil derrière une vitre. De même, l'émission de gaz provoquant cet effet est intellectuellement concevable au regard d'un feu, de sa fumée, et de la combustion d'une matière comme le bois ou un hydrocarbure. On comprend ainsi intuitivement le mécanisme provoquant le réchauffement global, même si la logique des diverses manifestations du dérèglement climatique est infiniment plus compliquée. En outre, en matière de climat, la météo nous est familière et nous mesurons quasi-quotidiennement la puissance des aléas climatiques, ne serait-ce qu'en étant épuisé par la chaleur d'une canicule inhabituelle.

Une crise, au moins cinq causes

La perception de la crise de la biodiversité est beaucoup moins claire dans nos esprits. L'évaluation de l'IPBES montre ainsi que la crise est d'emblée complexe, avec au moins cinq grands causes (au lieu d'une seule en apparence pour le climat, avec les gaz à effet de serre) : conversion des milieux (déforestation, assèchement des zones humides, etc.), surexploitation (surpêche, extraction de bois, etc.), pollution (par exemple, pesticides, plastiques), changement climatique (effets directs et indirects), et enfin espèces

¹⁶⁴ Briggs J.C. (2017). Emergence of a sixth mass extinction? *Biological Journal of the Linnean Society*, 122, 243-248.

exotiques envahissantes. Ces différents déterminants ne sont pas réductibles à une seule cause simple, d'autant qu'ils interagissent entre eux.

Et pourtant, le niveau de gravité atteint pour chaque cause atteint de tels extrêmes qu'il est difficile de rester indifférent.

Prenons la première cause de déclin, la conversion des milieux. Elle est connue de tous ; qui n'a pas vu les feux d'origine humaine en Amazonie, des images d'exploitation forestière en Afrique centrale ou en Indonésie. Le rythme de cette conversion est effréné : 5 millions d'hectares disparaissent ainsi chaque année, depuis plusieurs décennies. Nous en sommes à deux cents millions d'hectares disparus depuis 40 ans. Chaque massif forestier ainsi rasé ou gravement endommagé voit disparaître en même quantité d'espèces vivantes qui y étaient abrités exclusivement, des espèces souvent limitées à de petites aires de répartition ou spécialisées sur un microhabitat au sein de ces forêts¹⁶⁵. Beaucoup de forêt tropicales comptent en effet de 100 à 600 espèces d'arbres par hectare, sans compter les plantes épiphytes ou du sous-bois, les milliers d'espèces d'insectes ou d'autres animaux, grenouilles, serpents, poissons, petits mammifères, etc. Même les forêts tempérées qui brûlent ou que l'on coupe sont le réservoir de centaines d'espèces d'organismes qui leur sont associées et qui ne perdureront pas sans ce couvert végétal. Ces forêts maintiennent aussi des sols fragiles que l'érosion emporte dès la perte du couvert arboré, rendant bien souvent ces zones inaptées à la culture ou à toute autre utilisation ultérieure.

Cette situation n'est pas toujours prise à sa juste et tragique valeur. Certains pensent que des forêts pourront toujours repousser et fustigent une vision « écolo » qui consisterait à sanctuariser des espaces qui ont pourtant été de tous temps exploités par les humains. Le motto de l'aménageur industriel stipule qu'il n'y aurait pas d'espace naturel réellement vierge d'influence humaine ! C'est sans doute vrai sur le principe pour ces derniers siècles mais cela ne dit rien pour autant des états passés de la biodiversité dans ces espaces déjà sous influence humaine ! Il est ainsi vrai que bien des espaces forestiers tropicaux ont été utilisés par des peuples premiers. Par exemple, plus de 50

¹⁶⁵ Caesar M., Grandcolas P. & Pellens R. (2017). Outstanding micro-endemism in New Caledonia: More than one out of ten animal species have a very restricted distribution range. *PLoS ONE*, 12, e0181437.

millions d'amérindiens ont péri dramatiquement en un siècle, victimes de la colonisation de l'Amérique. L'impact de ces populations sur le paysage et le climat s'est donc amoindri, montrant ainsi paradoxalement qu'il n'était pas négligeable. En effet, ce massacre humain lié aux guerres et aux maladies introduites semble avoir provoqué un petit âge glaciaire en Europe, suite aux énormes quantités de carbone capturées par la végétation repoussant sur les espaces sudaméricains devenus incultes¹⁶⁶. Cela donne une mesure de l'impact des usages de terres par ces populations pourtant modestes. Pour autant et malgré leurs tailles assez importantes à certains époques historiques, ces populations avaient des pratiques souvent limitées (par exemple, cultures sur brûlis) et des moyens modérés qui autorisaient une conservation raisonnable de la biodiversité au sein ou aux alentours des zones de cultures¹⁶⁷. Raser comme nous le faisons des millions d'hectares, souvent sur de grandes surface d'un seul tenant, et épandre des pesticides ou des fertilisants ne permet pas la régénération forestière ni la récupération de la biodiversité qui existaient au sein de ces forêts. Songeons par exemple qu'il ne reste que 12% de la forêt atlantique brésilienne, une seconde amazonie cotière, dévastée durant les quatre derniers siècles¹⁶⁸. A ce stade de dévastation, il est encore parfois possible de replanter quand les sols sont riches et se sont maintenus. On peut alors espérer voir un pauvre couvert arboré se constituer après 10 ou 20 ans d'attente au moins. Mais il est illusoire de penser récupérer la une portion significative de la biodiversité passée éradiquée sur d'aussi vastes surfaces. On pourra espérer retrouver ainsi un couvert forestier d'une dizaine d'espèces d'arbres grâce au remarquable savoir-faire des écologues brésiliens mais pas pour autant les centaines d'espèces d'arbres qui existaient auparavant, abritant des milliers de plantes et d'animaux endémiques.

La même incompréhension se retrouve dans les chiffres de surface forestière publiés par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). On y trouve souvent la fausse bonne nouvelle d'une augmentation de la surface forestière au niveau mondial (ou en France métropolitaine). C'est confondre des plantations monospécifiques voire clonales d'arbres par ailleurs souvent exotiques avec des forêts

¹⁶⁶ Koch A., Brierley C., Maslin M.M. & Lewis S.L. (2019). Earth system impacts of the European arrival and Great Dying in the Americas after 1492. *Quaternary Science Reviews*, 207, 13-36.

¹⁶⁷ Rostain, S. (2017). Amazonie : les 12 travaux des civilisations précolombiennes. Belin, Paris

¹⁶⁸ <https://www.sosma.org.br/causas/mata-atlantica/>

naturelles riches et diverses. Certes, replanter des arbres peut parfois permettre de contribuer à un meilleur climat ou de maintenir des sols. Mais encore faut-il choisir les arbres autochtones génétiquement et écologiquement adéquats qui permettront de garder un sol vivant et non dégradé et d'entretenir une bonne diversité dans le sous-bois ainsi reconstitué, le tout dans la perspective d'un changement climatique maintenant inévitable. En outre, des plantations d'arbres suivant ces bons principes n'exonèrent pas de conserver les riches patrimoines forestiers actuels qui continuent à disparaître à un rythme insoutenable¹⁶⁹.

Mais la conversion des milieux ne concerne pas que les forêts. Les zones humides ont disparu pour plus de trois quarts de leur surface depuis le début de l'ère industrielle. Ce sont pourtant de formidables bassins de biodiversité, des réservoirs et des épurateurs d'eau¹⁷⁰. Et cependant, des idées reçues circulent trop souvent à leur sujet : ces zones auraient été uniquement des réservoirs d'agents infectieux et de leurs vecteurs, les moustiques et leur disparition serait donc un bienfait ! On retrouve là les lointains échos mal compris des politiques progressistes de nos aïeux, essayant de traiter paludisme et autres maladies, et qui recommandaient une politique hygiéniste de suppression des marécages et autres lieux émetteurs de miasmes. Ces maladies vectorielles qui font peur reviennent pourtant aujourd'hui sans que des zones humides soient à nouveau incriminées, car les moustiques transmettant la dengue, maladie du Nil ou Zika ne sont pas inféodés à des marécages et n'en ont donc pas besoin pour se disperser et s'installer. Il y a moustique et moustique, et milieu aquatique et milieu aquatique. Par exemple, les larves d'*Aedes albopictus*, vecteur de la dengue et envahissant en France métropolitaine se trouvent près des habitations, dans des quantités d'eau infimes créées par l'homme, récipients, flaques sur substrats étanches, etc. *Aedes aegypti*, vecteur de dengue, chikungunya et zika passe le plus gros de son temps dans les habitations sans s'en éloigner en moyenne de plus de 400 mètres. Une fois de plus, on retrouve la

¹⁶⁹ Di Sacco, A., Hardwick, K.A., Blakesley, D., Brancalion, P.H.S., Breman, E., Cecilio Rebola, L., Chomba, S., Dixon, K., Elliott, S., Ruyonga, G., Shaw, K., Smith, P., Smith, R.J., Antonelli, A., 2021. Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Global Change Biology* 27, 1328–1348.

¹⁷⁰ Díaz S. et al. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366, eaax3100.

problématique de la recherche de l'équilibre et du fonctionnement écologique qui devrait se substituer à l'anathème et à la destruction des organismes ou environnements – ici les zones humides – considérés comme des boucs émissaires.

Bien d'autres milieux sont également convertis à outrance, qu'il s'agisse des mangroves épuratrices et protectrices des rivages, des riches zones herbacées tempérées retenant les précipitations et stockant le carbone et remplacées par des zones de cultures industrielles, etc. Le constant de l'IPBES est accablant.

La conversion des milieux n'est pas productrice que de déserts pelés ou de champs de colza ou de soja à perte de vue, mais aussi de fragments forestiers et de lisières par milliers de kilomètres. Bien pire ainsi, elle augmente les interactions irréflechies entre biodiversité et espèce humaine, amenant notamment à l'émergence de nouvelles maladies ou de nouveaux pics épidémiques. A la source de ce problème gravissime se trouve une relation presque triviale tant elle est quasi-mécanique : la fragmentation des forêts comme moteur de l'accès et de la promiscuité avec des animaux. Dans les premiers stades de la conversion et à la frontière des grandes déforestations se trouvent des espaces dits fragmentés, où la surface forestière est divisée en milliers de morceaux mal connectés entre eux et parcourus par des routes, des pistes et des chemins¹⁷¹. Une carte du Yunnan en Chine, de l'état d'Espirito Santo au Brésil ou en Guinée en Afrique montrera la même sorte de mosaïque complexe où les surfaces de contact ont augmenté de manière vertigineuse, amenant à une croissance également vertigineuse de la promiscuité avec les animaux et des pathogènes. Les populations non urbaines voisines chasseront ou seront en promiscuité avec des animaux fréquentant les lisières (chauve-souris), s'installeront plus profondément dans cette mosaïque, voire y pénétreront plus souvent sous l'effet de la demande commerciale de produits forestiers générée par les grands centres urbains les plus proches. Des villageois chasseurs ne font pas plus de quelques kilomètres en moyenne pour s'approvisionner et en quelques années, ils auront totalement ratissé les populations de mammifères au point que les interactions seront naturellement amoindries. Par contre, chaque nouveau défrichement ou voie de

¹⁷¹ Laurance W.F. & Bierregaard R.O. (eds.) (1997). *Tropical forest remnants. Ecology, management, and conservation of fragmented communities*. Chicago University Press, Chicago.

pénétration relancera le processus et le multipliera. Il faut ajouter à ce tableau que les populations animales résidentes dans cette mosaïque perturbée ne se portent pas nécessairement au mieux et de fait abritent quelquefois des charges en pathogène plus fortes.

En tant que biologiste de terrain, j'ai eu comme tous mes collègues l'expérience cuisante de ce phénomène au cours de plusieurs décennies de travail de terrain. Travailler à quelques kilomètres d'un village pionnier en lisière de forêt tropicale amène à rencontrer très peu de grands vertébrés tous inmanquablement chassés par des populations à la recherche d'une viande peu disponible par ailleurs. Même s'il reste de bonne physionomie, ce sous-bois forestier proche des villages peut être en outre passablement modifié par ses voisins humains, dépeuplé de certains petits arbres fournissant bois de chauffe ou d'outillage, ou des ressources propices à la cueillette (nids d'insectes sociaux, fruits sauvages, etc.), voire partiellement envahis par des espèces introduites. Aller au delà de ces zones péri-villageoises demande habituellement des moyens et des efforts : un hélicoptage ou un long chemin en pirogue sur des rivières mal navigables. Cela revient en somme à s'éloigner des routes ou des pistes principales permettant le transport des chasseurs ou de leur gibier, permet de retrouver des zones de forêts tropicales où la grande faune et les peuplements ne sont pas anéantis. Le contraste est saisissant et chaque journée en forêt permet d'observer fréquemment tout ce qui est déjà disparu dans les forêts plus accessibles. Dans les zones accessibles, les connections éventuelles avec de grandes zones urbaines voisines ne peut qu'aggraver la situation car ces dernières sont demandeuses en ressources naturelles prélevées en forêts naturelles. Un voyage de quelques centaines de kilomètres en camion stop (j'avais raté un train trans-gabonais) sur une des grands routes en terre traversant le Gabon dans les années 80 m'a permis d'être témoin des très classiques et très banals trafics de viande de brousse ramené par le chauffeur et son aide des villages de l'intérieur vers Libreville, la grande ville en bord de mer : au fur et à mesure des villages traversés étaient marchandés et embarqués telle ou telle viande dite « de brousse » (éléphants, primates, etc.) pour être livrée à des acheteurs à Libreville.

Imaginez cette situation dans des zones à forte biodiversité, les fameux hot spots des tropiques (ou tout est plus riche, qu'il s'agisse de faune, de flore, de réservoirs, ou de pathogènes), avec un peuplement humain ancien qui a déjà flirté avec et « domestiqué » bien des pathogènes. Toutes les conditions sont alors réunies pour que des agents infectieux soient transmis, sélectionnés ou recombinaison pour infecter l'espèce humaine¹⁷². Un exemple évident de cette situation a été étudié en Afrique au sujet d'Ebola, une terrible fièvre hémorragique causé par le filovirus éponyme : déforestation récente, populations humaines en lisière et interactions avec le réservoir chauve-souris conduisent mécaniquement à des épidémies¹⁷³. S'il y a en plus trafic d'animaux vivants ou élevages à proximité, la situation n'en est que plus dangereuse, renforçant la possibilité pour des agents infectieux d'être capables d'infecter l'espèce humaine, en évoluant par sélection ou recombinaison dans des hôtes plus similaires à l'être humain (porcs, carnivores, etc.) que le réservoir originel (chauve-souris par exemple). La covid-19 semble s'être développée dans cette configuration aux confins du sud de la Chine et du Nord du Vietnam. Les mammifères porteurs de coronavirus actuellement connus comme tels dans ces régions sont des chauve-souris rhinolophes, des pangolins et des carnivores. Il est vraisemblable que le SARS-Cov-2 ait évolué ainsi soit par sélection à partir d'un de ceux-ci, soit plus vraisemblablement par recombinaison entre des virus portés par ces différents organismes, ce que montre par ailleurs la structure de son ARN¹⁷⁴. Les recherches à propos de ces animaux et de leur virus sur le terrain nous en diront plus dans les mois et années à venir. C'est un gros effort à consentir car il n'est pas donné à n'importe quel scientifique de savoir échantillonner ces mammifères et de traquer leur maladies dans des environnements complexes et divers du Vietnam et du Sud de la Chine. Mon collègue Alexandre Hassanin, expert dans ce domaine, me faisait remarquer les milieux forestiers existant autour de certaines grottes peuplées de chauve-souris au Cambodge avaient déjà disparus depuis son travail sur le terrain il y a une dizaine d'années, travail qui a permis la description récente d'un Coronavirus

¹⁷² Allen T., Murray K.A., Zambrana-Torrel C., Morse S.S., Rondinini C., Di Marco M., Breit N., Olival K.J. & Daszak P. (2017). Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. *Nature Communications*, 8, 1124.

¹⁷³ Olivero J., Fa J.E., Real R., Márquez A.L., Farfán M.A., Vargas J.M., Gaveau D., Salim M.A., Park D., Suter J., King S., Leendertz S.A., Sheil D. & Nasi R. (2017). Recent loss of closed forests is associated with Ebola virus disease outbreaks. *Scientific Reports*, 7, 14291.

¹⁷⁴ Hassanin, A., Rambaud, O., 2023. Retracing Phylogenetic, Host and Geographic Origins of Coronaviruses with Coloured Genomic Bootstrap Barcodes: SARS-CoV and SARS-CoV-2 as Case Studies. *Viruses*, 15, 406.

inconnu, étroitement apparenté aux virus de Rhinolophes et au SARS-Cov-2¹⁷⁵. Les chauve-souris dormant dans ces grottes sont donc maintenant condamnées à chercher leur pitance plus loin lors de leur sortie nocturne ! Cela peut les rapprocher des habitats humains avoisinants avec tous les risques que cela implique. Ces animaux et leurs virus sont en outre saisonniers et passablement rares, tout comme le virus de la grippe ne circule pas dans nos populations humaines européennes pendant l'été. La situation se complique encore avec les élevages à grande échelle de certains carnivores (chiens viverrins, civettes, visons) qui constituent aussi un fantastique réacteur à épidémie après qu'il y a eu recombinaison et contamination à partir de la faune sauvage. Les élevages comportent des animaux très semblables génétiquement et passablement maltraités. Ceux-ci sont entassés par milliers dans des structures autorisant entrées et sorties et contaminations mutuelles ; ils contribuent ainsi à augmenter le nombre de virus circulants et corrélativement leurs variants génétiques, voire à les rendre compatibles avec notre organisme¹⁷⁶.

On a évoqué l'exploitation à outrance des organismes forestiers, arbres ou mammifères et autres grands animaux. Extractions de bois et d'animaux terrestres sont donc liés à la conversion des milieux et agissent de concert en nous mettant en danger. Mais on pourrait aussi parler des populations d'organismes marins. Plus du tiers des populations de poissons pêchés est en déclin avec la surpêche, avec 55% de la surface des océans exploitée. Les pêches illégales représentent 21 milliards d'euros par an et 10% du total des pêches ! Ces chiffres donnent le vertige et expliquent le vocabulaire éloquent utilisé par certains scientifiques – extinction, annihilation –, pour être plus convaincant que de parler de simple déclin¹⁷⁷. Les populations de grands vertébrés sont suivies pour plusieurs raisons, soit à cause du charisme des espèces concernées ou bien parce qu'elles représentent des ressources économiques importantes. Un des outils de ce suivi s'est construit grâce à l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN) qui a mis en place le système des listes rouges, donnant différents statuts aux

¹⁷⁵ Hul V., Delaune D., Karlsson E.A., Hassanin A., Tey P.O., Baidaliuk A., Gámbaro F., Tu V.T., Keatts L., Mazet J., Johnson C., Buchy P., Dussart P., Goldstein T., Simon-Lorière E. & Duong V. (2021). A novel SARS-CoV-2 related coronavirus in bats from Cambodia. *bioRxiv*, 2021.01.26.428212 (article en cours d'évaluation par les pairs)

¹⁷⁶ Leclair L. (2020). *Pandémies, une production industrielle* Seuil, Paris.

¹⁷⁷ Ceballos G., Ehrlich P.R. & Dirzo R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

populations des organismes ciblés. L'état de conservation d'une population d'une espèce peut-elle être évaluée selon 11 catégories : allant d' « inconnu » ou « préoccupation mineure » à « éteinte », en passant par les situations inquiétantes de « vulnérable », « en danger » ou « en danger critique », catégories d'espèces menacées dans lesquelles on retrouve aujourd'hui de plus en plus d'espèces, y compris en Europe et en France métropolitaine. Est-il besoin d'énumérer que 42% des 454 espèces arbres d'Europe sont en danger d'extinction ?¹⁷⁸ Ou encore que le grand hamster d'Alsace, le phoque moine, et plus loin de nous tous les dauphins du monde, cinq grands primates, et des milliers d'autres espèces de batraciens, de plantes etc. le sont aussi. Même nos proches parents, chimpanzés, bonobos, gorilles, ourang-outangs, sont maltraités et en grand danger d'extinction. Ces listes rouges sont constituées par plusieurs milliers d'experts contribuant à l'IUCN et prenant en compte les critères de la taille de la population, de la disparition de son habitat naturel et du nombre d'individus qui ont atteint la maturité. Elle sont quelquefois critiquées par des esprits chagrins qui les voudraient plus quantitatives¹⁷⁹ mais la précision de ces estimations d'experts reste remarquablement avérée comme l'ont montré de nombreuses études méthodologiques. Ainsi, un collectif de mon laboratoire a-t-il effectué cette validation à propos des mollusques en comparant statistiquement avis d'experts et fréquence de captures dans les collections des Musées : dans une approche probabiliste, les deux indicateurs mathématiques convergent parfaitement vers un résultat consternant : 7% des 1,9 millions d'espèces de mollusques seraient ainsi déjà perdues, alors que les extinctions connues par l'accumulation de quelques suivis spécifiques sont sous-estimées à seulement 0,4%¹⁸⁰.

Les dommages à la biodiversité ne se résument pas à l'extractivisme et à la conversion. Dans les milieux déjà convertis, nous polluons terriblement avec de nombreux produits chimiques. La chimie de synthèse a produit plus de 40000 molécules n'existant pas dans la nature¹⁸¹. Au moins 6000 parmi elles sont libérées en quantité notables dans

¹⁷⁸ Rivers, M.C., Beech, E., Bazos, I., et al. (2019) *European Red List of Trees*. Cambridge, UK and Brussels, Belgium: IUCN. viii + 60pp.

¹⁷⁹ Leung B., Hargreaves A.L., Greenberg D.A., McGill B., Dornelas M. & Freeman R. (2020). Clustered versus catastrophic global vertebrate declines. *Nature*, 588, 267-271.

¹⁸⁰ Régnier C., Achaz G., Lambert A., Cowie R.H., Bouchet P. & Fontaine B. (2015). Mass extinction in poorly known taxa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, 7761-7766.

¹⁸¹ UNEP-ICCA (2019). *Knowledge Management and Information Sharing for the Sound Management of Industrial Chemicals. Submission of the International Council of Chemical Associations (ICCA) and the United*

l'environnement et certaines ont des conséquences considérables sur le vivant en tant que perturbateurs endocriniens des humains et des autres êtres vivants. On doit compter aussi parmi elles les plastiques dont les fragments sont aujourd'hui partout sur le globe terrestre, ou les pesticides qui sont par définition toxiques pour le vivant. Une étude récente a ainsi chiffré le coût humain minimum – ce qu'il est convenu d'appeler des externalités négatives – des perturbateurs endocriniens à 157 milliards d'euros, soit 1,23% du PIB pour l'Union européenne¹⁸².

Le même raisonnement vaut pour les pesticides : une étude récente de la situation aux Etats Unis montre que leur coût environnemental et de santé dépasse de très loin les bénéfices économiques apportés par leur utilisation¹⁸³. Dans ce contexte aujourd'hui bien connu, l'opinion publique s'est émue à juste titre des controverses sur interdictions et réautorisations d'usage des insecticides néonicotinoïdes, 1000 fois plus toxiques que les organochlorés (comme le pourtant tristement célèbre DDT, par exemple). Les néonicotinoïdes sont aujourd'hui partout dans les milieux naturels, tant ils sont produits et surtout appliqués sans aucune rationalité¹⁸⁴. En effet, leur principe d'application consiste à en enrober des graines que l'on plante tel que, pour s'assurer par avance d'une récolte sans savoir s'il y aura une attaque par des Insectes antagonistes. Ces produits sont en outre rémanents, ce qui signifie que leurs molécules ne se dégradent pas spontanément avant plusieurs années, voire de nombreuses années¹⁸⁵. La consommation directe de quelques graines enduites peut aussi tuer de petits ou de gros oiseaux messicoles et leur lessivage par les pluies jusque dans des pièces ou cours d'eau a un impact considérable sur la faune aquatique, y compris d'élevage, tant leur toxicité est grande¹⁸⁶. A dose infinitésimale, ils perturbent les Insectes, leur reproduction et leur

Nations Environment Programme (UNEP). UN Environment and the International Council of Chemical Associations.

¹⁸² Bellanger M., Demeneix B., Grandjean P., Zoeller R.T. & Trasande L. (2015). Neurobehavioral Deficits, Diseases, and Associated Costs of Exposure to Endocrine-Disrupting Chemicals in the European Union. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 100, 1256-1266.

¹⁸³ Bourguet D. & Guillemaud T. (2016). The Hidden and External Costs of Pesticide Use. In: *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 19* (ed. Lichtfouse E). Springer International Publishing Cham, pp. 35-120.

¹⁸⁴ Foucart, S. (2018). *Et le monde devint silencieux - Comment l'agrochimie a détruit les insectes*. Le Seuil, Paris.

¹⁸⁵ Wintermantel D., Odoux J.-F., Decourtye A., Henry M., Allier F. & Bretagnolle V. (2020). Neonicotinoid-induced mortality risk for bees foraging on oilseed rape nectar persists despite EU moratorium. *Science of The Total Environment*, 704, 135400.

¹⁸⁶ Yamamuro, M., Komuro, T., Kamiya, H., Kato, T., Hasegawa, H., & Kameda, Y. (2019). Neonicotinoids disrupt aquatic food webs and decrease fishery yields. *Science*, 366(6465), 620-623.

comportement. Ils diminuent la viabilité de leurs populations, y compris celles des Insectes qui ne nuisent pas aux cultures mais les polliniseraient ou prédatent ou parasiteraient les antagonistes¹⁸⁷. Le constat est plus que significatif : on observe un terrible déclin des Insectes dans les milieux agricoles européens¹⁸⁸. Cette situation est discutée par de nombreux observateurs qui restent parfois incrédules quant à la nature corrélative des relations de causalités étudiées en plein champ, pourtant parfaitement concordantes avec les expériences de toxicité au laboratoire ou en conditions semi-naturelles. L'adage « corrélation n'est pas raison » est alors appelé à la rescousse de ce scepticisme (pseudo)rationaliste pour tempérer l'urgence pourtant absolue du constat de déclin¹⁸⁹. Le fameux souvenir d'enfance des quinquagénaires concernant les pare-brises autrefois encombrés d'insectes écrasés n'est pas imaginaire, il rend bien compte d'un phénomène réel¹⁹⁰ : aujourd'hui, nul besoin de s'arrêter toutes les heures pour nettoyer le pare-brise de sa voiture au printemps et en été, il n'y a plus assez d'Insectes pour causer ce problème dans les régions agricoles. Le déclin des Insectes est un phénomène malgré tout multi-causal et complexe, étant donné la diversité extraordinaire de ce groupe (pour mémoire, il y a 40000 espèces en France métropolitaine et 1,1 millions espèces connues dans le monde) et le nombre d'atteintes différentes que nous faisons à l'environnement¹⁹¹. Un seul exemple de plus pour montrer la complexité du problème : le déclin des bousiers, ces coléoptères coprophages sont bien connus pour consommer voire enfouir les bouses des mammifères ruminants. Leur rôle est discret mais considérable : sans ces bousiers, les fécès s'accumuleraient à la surface des sols et nuiraient à la végétation et au bétail dans les milieux herbacés d'élevage. Cela a été le cas en Australie avant l'introduction de bousiers adaptés au bétail ; les bousiers autochtones étaient spécialisés sur les fécès de marsupiaux et ne pouvaient recycler les bouses des animaux élevés¹⁹². Outre le recyclage de cette matière organique et l'enrichissement des sols, ils aident également à maîtriser le stock

¹⁸⁷ Foucart, S. (2018). *Et le monde devint silencieux - Comment l'agrochimie a détruit les insectes*. Le Seuil, Paris.

¹⁸⁸ Seibold S. et al. (2019). Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature*, 574, 671-674.

¹⁸⁹ Jactel, H. et al. (2020). Insect decline: immediate action is needed. *Comptes Rendus Biologies*, 343, 267-293.

¹⁹⁰ Møller A.P. (2019). Parallel declines in abundance of insects and insectivorous birds in Denmark over 22 years. *Ecology and Evolution*, 9, 6581-6587.

¹⁹¹ Sánchez-Bayo F. & Wyckhuys K.A.G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8-27.

¹⁹² Bornemissza GF (1960). Could dung eating insects improve our pastures? *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 26, 54-56.

parasitaire du bétail en ne laissant pas les parasites intestinaux en accès contaminant directement à la surface du sol. Ces bousiers sont malheureusement affectés par certains produits vétérinaires utilisés contre les vers parasites des bovins¹⁹³. En pensant résoudre les parasitoses bovines, on affecte ainsi les bousiers, leur service de recyclage mais aussi au final la disponibilité du parasite qui cause précisément le problème ... sans compter que les vers deviennent résistants à certains vermicides utilisés¹⁹⁴ ! Le déclin des bousiers est en outre fortement déterminé par la diminution importante de la surface de prairies au profit des cultures et des constructions. Il n'y pas que les forêts tropicales dont la surface diminue grandement. Ce petit coup de projecteur sur les modestes bousiers ne doit pas faire oublier toute la communauté des recycleurs, vers de terre, collemboles et autres insectes, généralement affectée négativement par l'antiparasitaire bovin Ivermectine¹⁹⁵.

Le changement climatique est le quatrième grand facteur d'érosion de la biodiversité. Ses effets sur la biodiversité sont complexes mais très souvent négatifs en regard de nos intérêts immédiats¹⁹⁶. Diagnostiqué comme une élévation moyenne des températures à la surface du globe sous l'effet de l'augmentation des concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il se manifeste par de multiples dérèglements locaux, assèchements ou accroissement des pluviosités saisonnières, augmentation du nombre de phénomènes climatiques extrêmes (tornades, déluges, canicules, froids intenses, etc.)¹⁹⁷ Ces évènements trompent parfois le sens commun, comme la descente hivernale d'un front polaire glacial désagrégé sur l'Ouest des Etats Unis, qui semble contradictoire avec l'élévation globale des températures pour un observateur local. La tendance globale au réchauffement comme chacun de ces phénomènes locaux a une influence profonde sur les organismes. Certains suivent le climat et remontent au Nord avec la chaleur¹⁹⁸.

¹⁹³ Lumaret, J.P. et al. 1993. Field effects of ivermectin residues on dung beetles. *J. Appl. Ecol.* 30, 428–436.

¹⁹⁴ Rose Vineer H. et al. (2020). Increasing importance of anthelmintic resistance in European livestock: creation and meta-analysis of an open database. *Parasite*, 27.

¹⁹⁵ Scheffczyk, A. et al. (2016). Nontarget effects of ivermectin residues on earthworms and springtails dwelling beneath dung of treated cattle in four countries. *Environmental toxicology and chemistry*, 35(8), 1959-1969.

¹⁹⁶ Thuiller W. (2007). Climate change and the ecologist. *Nature*, 448, 550-552.

¹⁹⁷ Mitchell, J. F., Lowe, J., Wood, R. A., & Vellinga, M. (2006). Extreme events due to human-induced climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 364(1845), 2117-2133.

¹⁹⁸ Devictor, V., Julliard, R., Couvet, D., & Jiguet, F. (2008). Birds are tracking climate warming, but not fast enough. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1652), 2743-2748.

D'autres souffrent des canicules et régressent¹⁹⁹. Et enfin, les relations les plus ajustées, par exemple celle des insectes et de leurs parasites peuvent réagir différemment et devenir déphasées²⁰⁰. L'augmentation de la teneur en gaz carbonique dans l'atmosphère va également jouer sur la physiologie de certaines plantes et sur la disponibilité de l'azote dans des écosystèmes²⁰¹. Les événements extrêmes causent des dommages irréversibles, comme cela a été le cas des sécheresses estivales croissantes qui ont causé les plus grands incendies de forêt humide australienne de mémoire d'homme (en Nouvelle-Galles du Sud notamment). Ces événements étaient parfaitement prévus et annoncés depuis vingt ans par les écologues australiens, ainsi que l'aggravation probable de la situation dans les trois décennies à venir avec la continuation du changement climatique²⁰². A la place de forêts diverses détruites sur des centaines de milliers d'hectares repousseront lentement des couverts très appauvris et dominés par les espèces pyrophiles, résistantes ou repoussant après le feu, sans parler bien sûr de la faune, directement décimée par ces événements²⁰³. Le climat des prochaines décennies provoquera encore et encore ce type d'événements empêchant ces écosystèmes de parvenir à un état d'équilibre plus stable.

Nous oublions aussi bien souvent que le climat n'est pas fait que d'éléments physiques, gaz carbonique, méthane, eau, etc. mais aussi d'organismes vivants qui captent ou relâchent ces éléments physiques, le carbone et les gaz à effets de serre, dans des proportions gigantesques. A cet égard, les métaphores comme « l'Amazonie, poumon de la Terre », sont souvent trompeuses ou inexactes : l'Amazonie consomme autant d'oxygène qu'elle en produit mais par contre elle représente un énorme stock de carbone et garantit la pérennité d'un climat humide et de sols sur une surface de terre immense. Il n'en reste pas moins que les pompes à carbone si ce n'est l'Amazonie ou de

¹⁹⁹ McKechnie, A. E., & Wolf, B. O. (2010). Climate change increases the likelihood of catastrophic avian mortality events during extreme heat waves. *Biology letters*, 6(2), 253-256.

²⁰⁰ Hance T., van Baaren J., Vernon P. & Boivin G. (2006). Impact of Extreme Temperatures on Parasitoids in a Climate Change Perspective. *Annual Review of Entomology*, 52, 107-126.

²⁰¹ Welti, E. A., Roeder, K. A., de Beurs, K. M., Joern, A. & Kaspari, M. (2020). Nutrient dilution and climate cycles underlie declines in a dominant insect herbivore. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 117(13), 7271-7275.

²⁰² Hennessy, K., Lucas, C., Nicholls, N., Bathols, J., Suppiah, R., & Ricketts, J. (2005). *Climate change impacts on fire-weather in south-east Australia*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australia, 88 p.

²⁰³ Filkov A.I., Ngo T., Matthews S., Telfer S. & Penman T.D. (2020). Impact of Australia's catastrophic 2019/20 bushfire season on communities and environment. Retrospective analysis and current trends. *Journal of Safety Science and Resilience*, 1, 44-56.

grands bassins forestiers, sont en bonne partie biologiques, et notamment dans les océans²⁰⁴. Les organismes marins captent non seulement les éléments des gaz à effet de serre (le carbone du gaz carbonique et l'azote du protoxyde d'azote) est aussi un gaz à effet de serre) mais produisent aussi des substances contribuant à la formation de nuages et à la lutte contre l'effet de serre, certes d'effet mineur (comme le sulfure de diméthyle, une substance produite par les algues et par les coraux)²⁰⁵. Il existe aujourd'hui un besoin crucial d'augmentation des connaissances sur les détails de la contribution du vivant aux cycles biogéochimiques majeurs, de manière à affiner les modèles d'évolution climatique. En tous les cas, l'acidification des océans avec la dissolution du gaz carbonique en quantité croissante est une très mauvaise nouvelle, pas seulement pour les coraux en mauvaise santé²⁰⁶ mais aussi pour l'ensemble des cycles perturbés dont le rôle de régulation environnementale sera moins efficace²⁰⁷.

Le cinquième et dernier grand moteur de la crise de la biodiversité réside dans notre capacité à déplacer rapidement un grand nombre d'espèces et à les introduire dans d'autres écosystèmes où elles deviennent alors des espèces exotiques envahissantes (EEE). Le plus souvent, ces actions sont involontaires. Bien sûr, à des multiples reprises, quelques espèces ont été introduites volontairement ici ou là comme une solution à un problème, subsistance alimentaire, lutte contre un ravageur, etc. avec comme résultat le plus fréquent, la création d'un nouveau problème sans que le premier s'en trouve résolu. Par exemple, le merle des moluques, un oiseau proche parent et assez semblable aux étourneaux, a été introduit en Nouvelle-Calédonie au XIX^e siècle pour lutter contre les invasions de criquets dans les cultures. Peu efficace à cet égard, l'oiseau est aujourd'hui omniprésent et cantonné aux zones ouvertes où il cause parfois les mêmes problèmes que les étourneaux avec de bruyants rassemblements nuisibles. Mais surtout il est un agent majeur d'expansion d'une plante terriblement envahissante, la lantana

²⁰⁴ Ducklow, H. W., Steinberg, D. K., & Buesseler, K. O. (2001). Upper ocean carbon export and the biological pump. *Oceanography*, 14(4), 50-58.

²⁰⁵ Raina, J-B., Tapiolas, D. M., Foret, S., Lutz, A., Abrego, D., Ceh, J., Seneca, F. O., Clode, P., Bourne, D. G., Willis, B. L., & Motti, C. A. (2013). DMSP biosynthesis by an animal and its role in coral thermal stress response. *Nature*, 502, 677-680.

²⁰⁶ Hoegh-Guldberg, O. et al. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737-1742.

²⁰⁷ Hofmann, M., & Schellnhuber, H. J. (2009). Oceanic acidification affects marine carbon pump and triggers extended marine oxygen holes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(9), 3017-3022.

(*Lantana camara*) dont il consomme, défèque et disperse donc les graines ; cette plante domine de nombreux milieux et cultures en éliminant des espèces autochtones²⁰⁸.

Un autre exemple encore beaucoup plus dramatique est celui du lapin dont une douzaine de couples ont été introduit au XIX^{ème} siècle en Australie par un chasseur. On compte aujourd'hui plus d'un demi-milliard de lapins ravageant les milieux naturels et qu'il est impossible d'éliminer complètement.

La grande majorité des EEE s'est invitée bien malgré nous, via nos transports commerciaux, via le délestage des ballasts de navires, les transports de nourriture, de plantes cultivées, ou de biens divers²⁰⁹. Nous avons déjà parlé des moustiques vecteurs de maladies et responsables de milliers de morts : ils sont transportés mondialement, notamment dans les pneus, qu'il est bien difficile de vider de l'eau de pluie qui s'y serait accumulée. On peut aussi mentionner le frelon asiatique *Vespa velutina* probablement introduit en France par une seule femelle multi-fécondée dans une poterie chinoise et qui s'est largement répandu aujourd'hui sur l'ensemble du territoire, prédatant les abeilles et exaspérant les apiculteurs²¹⁰. Les exemples sont légions car les EEE se comptent par milliers et évoluent souvent a posteriori de leur introduction. Ainsi les petites fourmis de feu, *Wasmannia auropunctata*, à la pique pénible, peuplaient-elles discrètement les chablis forestiers sud-américains à l'origine. Elles sont aujourd'hui présentes sur tous les continents, dans des forêts sèches ou végétations semi-ouvertes, déplaçant insectes, vertébrés et populations humaines tant leurs colonies sont agressives et envahissantes²¹¹.

Bizarrement, face à cette avalanche de situations cauchemardesques, la réaction humaine tient parfois du déni²¹². La diabolisation des EEE agace sans doute les personnes appelant à une relations apaisée avec la nature, qui pensent observer chez les

²⁰⁸ Gargominy O., Bouchet P., Pascal M., Jaffré T. & Tourneur J.C. (1996). Conséquences des introductions d'espèces animales et végétales sur la biodiversité en Nouvelle-Calédonie. *Revue d'Ecologie (Terre Vie)*, 51, 375-401.

²⁰⁹ Simberloff, D. (2013). *Invasive species: what everyone needs to know*. Oxford University Press.

²¹⁰ Arca M. et al. (2015). Reconstructing the invasion and the demographic history of the yellow-legged hornet, *Vespa velutina*, in Europe. *Biological Invasions*, 17, 2357-2371.

²¹¹ Mikheyev, A. S., & Mueller, U. G. (2007). Genetic relationships between native and introduced populations of the little fire ant *Wasmannia auropunctata*. *Diversity and Distributions*, 13(5), 573-579.

²¹² Ricciardi A. & Ryan R. (2017). The exponential growth of invasive species denialism. *Biological Invasions*, 20, 549-553.

experts des EEE une gestion brutale de l'environnement et un interventionisme permanent et malvenu. Ces personnes ne connaissent pas les pires exemples d'EEE qui peuvent faire un enfer de la vie de leurs victimes et provoquer des déclin d'espèces en cascade²¹³. Il est vrai aussi que beaucoup d'invasions ne sont plus réversibles et qu'il est alors nécessaire de contrôler ou d'admettre les effets habituels de telle ou telle présence d'espèce. Les tentatives de contrôle des EEE montrent bien la puissance de la biodiversité.

Invité récemment à l'émission la Terre au Carré sur France Inter pour témoigner du déclin des Insectes, j'ai été questionné sur le paradoxe suivant : comment se fait-il que l'on n'arrive pas à se débarrasser d'une simple espèce envahissante comme le frelon asiatique alors que par ailleurs bien des espèces d'insectes déclinent ? Hélas nos terribles atteintes aux écosystèmes par conversion ou par pollution depuis des décennies massacrent globalement et aveuglement des milliers d'espèces fragiles. Chaque année, vingt-cinq millions de tonnes de pesticides déversés dans le milieu naturel, dix millions d'hectares de forêt tropicale perdus, nous employons de grands moyens ! Intervenir précisément sur telle ou telle espèce est infiniment plus compliqué que de jouer aux éléphants dans un jeu de quilles et cela dépasse clairement nos capacités ...²¹⁴

C'est aussi par là reconnaître la puissance de la biodiversité, cette puissance que Charles Darwin avait bien perçue, avec cette capacité à se multiplier à l'infini d'une simple population, qu'il avait sous-titrée « Geometrical Ratio of Increase »²¹⁵. Sans mortalité ou reproduction différentielle, Darwin avait calculé que la terre serait couverte des descendants d'un seule couple d'une même espèce en quelques années. Puisque cela ne se produit pas, il en avait conclu qu'il y a un donc obstacle aux survies et reproductions qui amèneraient à une croissance géométrique. Darwin a représenté cet obstacle comme étant celui de la lutte pour la survie, de la compétition entre individus ou espèces ou de

²¹³ Lowe S., Browne M., Boudjelas S., De Poorter M. (2000) *100 of the World's Worst Invasive Alien Species A selection from the Global Invasive Species Database*. Published by The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), 12 pp.

²¹⁴ Barbault, R. (2008) *Un éléphant dans un jeu de quilles : L'homme dans la biodiversité*. Le Seuil, Paris.

²¹⁵ page 50 ; Darwin, C. R. 1876. *The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray. 6th edition, with additions and corrections.

la moindre adéquation de certains individus avec l'environnement en général. Il en a tiré la théorie de la sélection naturelle, selon laquelle seuls les individus portant des caractères suffisamment avantageux (aujourd'hui, nous les disons adaptés) peuvent survivre. En d'autres termes, des équilibres naturels sont en jeu qui régulent les abondances de toutes les êtres vivants. Maitriser ces abondances, contrer la reproduction et les multiples adaptations qui permettent à des organismes d'apparence modeste de survivre efficacement est une tâche difficile que nous ne sommes pas capables d'accomplir de manière efficace la plupart du temps. C'est d'ailleurs paradoxalement préférable, tant nous sommes peu rationnels et respectueux des intérêts des écosystèmes sur le long terme. Si nous avions le pouvoir de supprimer une espèce d'un simple trait de crayon, il y a a fort à parier que la terre serait dépeuplée de la quasi-totalité de ses organismes en quelques années ... Pour le meilleur comme pour le pire : ainsi, les frelons asiatiques sont-ils capables de peupler de générer des colonies de plusieurs milliers d'individus en une seule saison ; entre autres adaptations, ils volent admirablement, repèrent les mouvements antagonistes en quelques millisecondes et sont munis de dards venimeux avec lesquels ils piquent comme l'éclair les imprudents qui essaient de les saisir. Si vous voulions agir contre cette espèce envahissante, nous devrions développer des brigades d'intervention spécialisées, maitrisant ses adaptations et intervenant sur l'ensemble du territoire infesté, y compris de manière transfrontalière. Même ainsi, il y a fort à parier qu'une colonie ici ou là échapperait à ces brigades et que quelques milliers de frelons seraient à même d'envahir de plus belle la saison qui suit. Il y aurait là un effort démesuré à produire, qu'il faudrait encore multiplier par quelques centaines, en regard de chacune des espèces indésirables introduites.

Une difficulté similaire apparaît avec les blaireaux suspectés de contaminer du bétail et de provoquer la tuberculose bovine. Limiter la taille des populations de blaireaux est le moyen immédiatement envisagé, d'autant que cela satisfait les envies de certains chasseurs. Cela semble d'autant plus simple que le pauvre blaireau n'est ni insaisissable, ni bien dangereux et suscite donc les envies malades de massacre. Hélas, réduire ses populations rend les survivants plus fréquemment porteurs de la tuberculose, surtout quand un espace naturel vidé de ses blaireaux se remplit de blaireaux du voisinage

disposant d'un nouvel espace libre et se contaminant mutuellement au cours de leur dispersion et de leur nouvelle socialisation²¹⁶. Par ailleurs, des vaches tuberculeuses contaminent en retour les blaireaux nouvellement arrivés, empêchant doublement les effets espérés de ce contrôle des populations. Une histoire assez similaire pourrait être racontée à propos des bouquetins réintroduits dans les Alpes et des problèmes de transmission croisée de la brucellose avec les vaches laitières, et les humains consommateurs de fromage au lait cru²¹⁷.

Impossible bien souvent de contrôler les populations d'un organisme (notamment en plaine comme pour le blaireau) sans provoquer de pénibles vases communicants avec les populations voisines. J'ai déjà évoqué auparavant le cas des prélèvements dans les populations de sangliers conduisant dans certaines conditions à une plus forte reproduction et une croissance importante des hardes, là encore contre-intuitive à la diminution de la population-cible²¹⁸. Les brigades spécialisées anti-espèces-envahissantes existent bien en ce qui concerne les cervidae et les sangliers, les renards et les blaireaux ; nous les appelons des chasseurs et leurs traditions amènent à ne pas résoudre de problèmes mais trop souvent à en créer d'autres. Ainsi, les renards sont-ils persécutés et laissent le champ libre aux rongeurs réservoirs de la bactérie *Borellia* de la maladie de Lyme. Les sangliers agrainés et chassés comme trophées se multiplient à l'extrême, causant d'énormes dommages au milieu naturel et aux cultures. Que l'on se rappelle qu'en France, le nombre de sangliers chassés chaque année est passé de quelques trente mille dans les années 1970 à quelques huit cent mille individus aujourd'hui, sans que le problème ne trouve sa solution.

Capacité à se reproduire, à se disperser, et à évoluer sont autant de caractéristiques qui rendent le vivant très puissant, et très souvent rétif à notre contrôle. Nous devrions nous efforcer de l'exercer avec expertise et assiduité, en recherchant à maintenir des équilibres plutôt que penser supprimer le problème avec telle ou telle espèce.

²¹⁶ Woodroffe R. et al. (2006). Culling and cattle controls influence tuberculosis risk for badgers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 14713.

²¹⁷ Arpin I. (2020). Une vie sauvage sans frontières ? Le cas de la contamination des bouquetins du Bargy. *Zilsel*, 7, 179-198.

²¹⁸ Braga C., Alexandre N., Fernández-Llario P. & Santos P. (2010). Wild boar (*Sus scrofa*) harvesting using the espera hunting method: side effects and management implications. *European Journal of Wildlife Research*, 56, 465-469.

Bons et loyaux services rendus : pour combien de temps encore ?

Vous êtes vous déjà posé la question de savoir d'où vient l'air que vous respirez ou l'eau que vous buvez ? J'entends par là, par quels processus précis sont-ils toujours disponibles en quantité suffisante. Non, probablement jamais ?! Moi non plus à vrai dire si ce n'est en me référant à des banalités sur le cycle de l'eau ou du carbone, souvenirs de l'école ou du collège de mon enfance. Je me rappelle encore avoir été très fier d'un grand poster réalisé dans un atelier de classe, avec l'eau s'écoulant le long des rivières jusqu'à l'océan, s'évaporant et tombant en pluies sur le milieu terrestre. Manquait à ce schéma bien des éléments cruciaux, comme le stock de glace des pôles, les forêts grandes évaporatrices et génératrices de brouillards et de pluviosité, etc.

Nous ne nous posons guère ce genres de questions car nous pensons le monde comme un corne d'abondance où toutes les grandes fonctions sont régies par la surabondance des éléments. En ce qui concerne l'air que nous respirons, nous avons l'impression trompeuse que les fumées ou gaz toxiques se diluent dans le volume colossal de l'atmosphère ; quant à l'eau, de mémoire d'homme occidental, pluies, fleuves et océans y pourvoient de manière immanente, malgré quelques épisodes de sécheresse. Il en est de même pour la fertilité des sols, l'abondance des animaux, la croissance des plantes que nous pensons toutes sans limites. Si d'aventure l'une de ces propriétés s'avère ne pas nous donner satisfaction, nous présumons alors que le milieu ou l'espèce concernée sont mauvais et doivent être corrigés. Le sol infertile ou appauvri doit être amendé et deux cent millions de tonnes de fertilisants sont ainsi utilisés chaque année dans le monde ; l'espèce importune doit être supprimée grâce aux vingt-cinq millions de tonnes de pesticides de toxicité croissante épandus également chaque année. Nous pensons les éléments de la nature de manière essentialiste, comme s'ils avaient pour essence intrinsèque d'être bons ou mauvais. Nous ne les pensons pas de manière systémique, comme le font les écologues, ce qui nous amènerait à réfléchir sur les conditions de leur

origine, de leur abondance et de cycle de vie. Cette croyance en un monde illimité caractérise notre relation à la nature et à la biodiversité.

La révélation des grandes crises environnementales fait péniblement conflit avec notre manière de voir. Nous découvrons avec désagrément que le monde, aussi vaste soit-il, n'est pas sans limites et qu'il ne satisfera pas nécessairement tous nos besoins²¹⁹. Des limites planétaires ont été ainsi formulées à propos de sept domaines : le climat, l'eau, la diversité fonctionnelle et génétique, les cycles du phosphore et de l'azote, la couche d'ozone, les aérosols atmosphériques, les quantités d'entités nouvelles (molécules ou organismes non-naturels) et l'acidification des océans. Trois sur sept étaient déjà allègrement dépassées et la stabilité du système Terre engagée à leur propos en 2015 : azote, phosphore (notamment à cause de l'usage démesuré des fertilisants) et diversité génétique (perte d'espèces représentatives des divers groupes d'organismes).

Ainsi que Freud l'a formulé²²⁰, nous sommes humiliés d'avoir découvert que nous ne sommes pas au centre du système solaire, que nous avons évolué à partir d'une modeste souche animale, et plus encore, que nous ne procédons pas toujours par des comportements rationnels mais sommes trahis par notre esprit et nos désirs inconscients. S'y ajoute aujourd'hui la découverte écologique des limites de notre monde, incapable de contenir l'ensemble de nos activités. Face à cette déconvenue cosmique, il est primordial de ravalier notre peur ou notre défiance. Il nous faut prendre la mesure de ce que notre planète et ses écosystèmes nous offrent en permanence et combien ces services ou ces contributions, quelque soit la manière dont on les nomme, sont précieux et indispensables. Au cours des années passées, les services écosystémiques ont ainsi été détaillés et comptabilisent ce que les écosystèmes fournissent à l'espèce humaine²²¹. On peut distinguer ainsi les services d'approvisionnement (matériaux, nourriture, etc.), de régulation (climat, pollinisation, etc.), socioculturels (bien-être) et de soutien (grands cycles biogéochimiques aussi appelés fonctions de support). Ces catégories sont certes délimitées de manière un peu

²¹⁹ Steffen W. et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347, 1259855-1259855.

²²⁰ Freud, S. (1917). *Une difficulté de la psychanalyse*. Œuvres complètes Volume XV.

²²¹ Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.

arbitraire mais elles ont quand même l'avantage de concrétiser par un chiffrage la situation réelle et de nous faire prendre conscience que ces services de l'état des écosystèmes que nous bouleversons.

Le terme de services est certes un peu anthropocentrique et il pourrait laisser penser que la nature n'a pour seule fonction que d'être à notre service. Un travail récent lui a récemment substitué un équivalent avec une terminologie moins utilitariste, celui des contributions de la nature aux personnes, qui décrivent les liens entre nature et humains, qu'ils soient d'ailleurs positifs ou négatifs²²².

Premier exemple de service ou de contribution, probablement celui dont on parle le plus récemment : si les insectes continuent à disparaître en masse sous l'effet des pesticides, nos cultures ne seront plus pollinisées²²³. Les trois quarts des plantes cultivées sont pollinisées par des animaux, principalement des insectes, et certaines cultures industrielles plafonnent déjà faute de pollinisation efficace²²⁴. On peut en fait douter de la permanence générale de ce service dans un futur proche tant les tendances sont inquiétantes²²⁵. Les sommes en jeu sont gigantesques : l'équivalent de services de centaines de milliards d'euros sont ainsi fournis gracieusement chaque année par de modestes petits insectes dans tous les écosystèmes du monde²²⁶. La question est complexe car chaque plante a des pollinisateurs attirés ou préférés, outre les éventuels pollinisateurs généralistes ou opportunistes. L'action précise des insectes peut en outre varier : visiter les fleurs n'est pas polliniser, encore faut-il que le comportement de l'insecte et sa morphologie contribuent significativement aux échanges de pollen entre fleurs différentes et que cette action intervienne au moment opportun pour la plante.

Nos interventions sur l'environnement, en particulier dans nos cultures, peuvent brutalement changer la donne. Ainsi, du fait de leur morphologie, plusieurs espèces de

²²² Diaz, S. et al. (2018) An inclusive approach to assess nature's contributions to people. *Science*, 359, 270.

²²³ Jactel, H. et al. (2020). Insect decline: immediate action is needed. *Comptes Rendus Biologies*, 343, 267-293.

²²⁴ Goulson, D. (2013). An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 977-987.

²²⁵ Foucart, S. (2018). *Et le monde devint silencieux - Comment l'agrochimie a détruit les insectes*. Le Seuil, Paris.

²²⁶ Losey, J. E., & Vaughan, M. (2006). The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, 56(4), 311-323.

bourdons sont les meilleurs pollinisateurs des trèfles²²⁷. Les abeilles et les bourdons ont une sorte de langue formée par leurs pièces buccales articulées avec laquelle ils lèchent le nectar des fleurs dont ils nourrissent. La longueur de cette langue est en rapport avec la forme des fleurs visitées ou la profondeur des corolles, d'où l'adéquation entre certains bourdons et les trèfles. La disparition des haies empêche les bourdons de nidifier et provoque leur déclin. Par ailleurs, les cultures de trèfle diminuent en importance : autrefois utilisées en assolement comme cultures d'enrichissement des sols en azote, elles sont aujourd'hui remplacées par des fertilisants minéraux amenés à grand frais dans les cultures industrielles. Pour toutes ces raisons, et sans pour autant minorer le rôle négatif des pesticides et du changement climatique, les bourdons déclinent et peuvent de fait devenir des pollinisateurs moins présents, y compris en regard de nos autres cultures sur lesquelles ils sont pollinisateurs, comme avec les pieds de tomates²²⁸. Nous sommes donc assez fous pour faire en sorte que des services gratuits aussi importants que la pollinisation disparaissent et pour nous targuer de les remplacer par de coûteuses et déraisonnables futilités comme des drones pollinisateurs ! C'est bien sûr un exemple assez classique de services écosystémiques, très médiatisé à la mesure du rôle fonctionnel des abeilles domestiques que nous connaissons tous.

Ces mêmes insectes qui pollinisent en transportant le pollen transportent et déposent aussi des micro-organismes qui nous sont bien utiles. Je ne résiste pas à l'envie de citer l'exemple des guêpes qui constituent le réservoir hivernal des levures *Saccharomyces cerevisiae* avec leur tube digestif. A la belle saison, elles peuvent ainsi ré-ensemencer les fruits qu'elles attaquent et en particulier nos raisins, permettant ainsi à la fermentation de prendre place lors de la vinification²²⁹. Ces mêmes guêpes que nous considérons avec méfiance lorsqu'elles attaquent notre pique-nique et dont nous avons du mal à considérer le rôle pollinisateur pourtant bien réel, ont eu un rôle essentiel dans la découverte et la production du vin !

²²⁷ Carvell C., et al. (2006). Declines in forage availability for bumblebees at a national scale. *Biological Conservation*, 132, 481-489.

²²⁸ Morandin L.A., Lavery T.M. & Kevan P.G. (2001). Bumble Bee (Hymenoptera: Apidae) Activity and Pollination Levels in Commercial Tomato Greenhouses. *Journal of Economic Entomology*, 94, 462-467.

²²⁹ Stefanini I. et al. (2012). Role of social wasps in *Saccharomyces cerevisiae* ecology and evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 13398.

Mais il y a tant d'autres services dont nous n'imaginons pas l'ampleur et l'importance. Ainsi les récifs coralliens sont souvent considérés comme des trésors de biodiversité, propices aux reportages télévisés colorés et aux vacances de luxe. On se lamente du déclin de ces trésors sous-marins face à l'acidification des eaux du globe avec la gaz carbonique dissout, qui provoque leur blanchiment et leur mort. Et, ce faisant, on oublie que ces récifs garantissent aussi une protection pour environ 100 à 300 millions de personnes contre les cyclones ou raz de marée centennaux²³⁰.

Certains services nous sont encore moins évidents car ils témoignent d'une dynamique complexe basée sur des interactions entre organismes, moins visibles que celle liées aux insectes butineurs et dont l'importance ou le rythme nous échappent. Impossible pourtant de faire l'impasse sur ces sujets cruciaux pour l'état et le devenir du monde.

Premier sujet dont l'actualité nous montre l'importance mondiale : les maladies zoonotiques, en d'autre termes les maladies causées par des pathogènes qui sont issus d'espèces animales dites réservoirs. Pourquoi de nouveaux pathogènes apparaissent de manière croissante dans les populations humaines, avec le dernier en date, le SARS-Cov-2 ?²³¹ D'ordinaire, les régulations naturelles dans les écosystèmes limitent la prévalence d'espèces animales réservoirs, de leurs agents pathogènes ou leur transmission aux humains. Telle ou telle espèce réservoir aura la densité de ses populations ou sa dispersion contrôlées par ses prédateurs naturels, telle autre restera au plus profond de la forêt où elle y trouvera toutes les ressources nécessaires, habitat et nourriture. Ces régulations naturelles dépendent donc de la surface, de la richesse et de l'équilibre des écosystèmes avec la présence respective de grands et petits prédateurs et de producteurs primaires, en nombre et en diversité suffisante permettant d'éviter pullulations, migrations, etc. Si les réseaux alimentaires dans les écosystèmes sont appauvris ou déséquilibrés par des prélèvements (chasses, traffics²³², etc.), les espèces réservoirs de pathogènes peuvent momentanément pulluler ou se disperser hors de leur habitat naturel et venir au contact des humains. Seconde dimension du problème, si le

²³⁰ <https://ipbes.net/news/global-assessment-summary-policymakers-final-version-now-available>

²³¹ Jones K.E., Patel N.G., Levy M.A., Storeygard A., Balk D., Gittleman J.L. & Daszak P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451, 990-993.

²³² Morton O., Scheffers B.R., Haugaasen T. & Edwards D.P. (2021). Impacts of wildlife trade on terrestrial biodiversity. *Nature Ecology & Evolution*.

milieu est détruit ou endommagé par exemple par déforestation ou fragmentation, outre qu'elle augmente les déséquilibres précédents, l'ouverture du milieu forcera directement les espèces réservoirs à sortir de leur habitat²³³. Nous voyons ainsi croître les épidémies au même rythme que la déforestation et la création de paysages morcelés et détruits : rongeurs ou chauve-souris sortant du bois, et contaminant soit des animaux sauvages objets de trafics, soit des animaux domestiques, soit nous-mêmes directement²³⁴. Le covid-19 a été ainsi vraisemblablement causé par le déclin de ces services écosystémiques de régulation, augmenté encore par les trafics d'animaux sauvages. Outre les chauve-souris rhinolophes sortant des forêts, sont prélevés par dizaines de milliers de petits mammifères, entassés, élevés, transportés dans des conditions pitoyables et propices à la contamination²³⁵.

Deuxième service écosystémique dont l'importance a été soudainement mise en lumière suite aux confinements durant la pandémie, celle de la valeur récréative des espaces verts ou des forêts périurbaines. Leur contribution fondamentale au bien-être des personnes se mesure en santé humaine et ne relève donc pas d'un simple confort, aussi légitime soit-il ! Considérées comme décoration ou simples lieux de balade, les forêts périurbaines sont souvent mises en demeure de fournir un revenu forestier par les collectivités régionales. De fait, elles sont le plus souvent exploitées de manière court-termiste en abattant les arbres qui ne grandiront plus ou dont la mort ou la chute sont redoutées . Cette exploitation est généralement régie par de conventions de gestion concédées à des organismes dont le but et la philosophie sont l'exploitation forestière. Ces forêts perdent ainsi une bonne partie de leur valeur esthétique et une grande part de leur biodiversité, avec des sous-bois simplifiés à l'extrême et des peuplements forestiers passe-partout. Et pourtant, la valeur récréative de ces forêts – mise à mal par une telle exploitation – est estimée quatre fois supérieure à leur valeur forestière en

²³³ Silvain, J.F., Goffaux, R., Soubelet, H., Sarrazin, F., Abbadie, L., et al.. *Mobilisation de la FRB par les pouvoirs publics français sur les liens entre Covid-19 et biodiversité*. [Rapport de recherche] FRB. 2020, 54 p. <https://www.fondationbiodiversite.fr/mobilisation-de-la-frb-par-les-pouvoirs-publics-francais-sur-les-liens-entre-covid-19-et-biodiversite/>

²³⁴ Morand, S. (2016). *La prochaine peste: une histoire globale des maladies infectieuses*. Fayard.

²³⁵ Hassanin A., Grandcolas P. & Veron G. (2020). Covid-19: natural or anthropic origin? *Mammalia*, 000010151520200044.

matière d'extraction de bois²³⁶. Mais, comme pour beaucoup de services écosystémiques, les bénéfices de cette valeur récréative ne sont pas intégrés dans nos circuits économiques. Ils ne comptent pas, nous n'en sommes même pas conscients, alors qu'ils sont fondamentaux et n'ont aucun substitut possible, contrairement aux banales productions de bois tirées de ces modestes forêts.

Troisième exemple de service écosystémique dont la dimension biologique nous échappe passablement, celle de la dynamique des sols. Pour la plupart d'entre nous, les sols sont plutôt des environnements amorphes et les modalités de leur genèse nous semble triviales. Un sol n'est pourtant pas une simple couche de terreau posée sur des couches minérales sous-jacentes, la roche-mère des géologues et pédologues, mais tout un ensemble d'horizons mélangeant subtilement matière organique et minérale. Cette incorporation de matière organique ne se fait pas par simple décomposition chimique mais elle est le fait d'une multitude d'organismes, insectes, acariens, vers de terre, nématodes, termites, champignons, bactéries, etc. Une poignée de terre de l'un de nos jardins contient ainsi des milliers d'espèces dont le rôle est primordial : ils sont des dizaines de millions au mètre carré. Sans ces organismes en nombre et en diversité suffisants, les feuilles mortes ou les fragments de bois mettraient des années à se décomposer. Et le sol dysfonctionnerait, avec une grosse quantité de matière organique inerte en surface et non incorporée, ne permettant pas aux plantes de prospérer en s'enracinant. De mauvaises plantations d'arbres, des substrats géologiques exceptionnellement acides ou partiellement inondés et anoxiques amènent d'ailleurs quelquefois à ces extrémités. Il y a plusieurs décennies, j'ai appris avec une collègue chercheuse CNRS à l'université de Rennes I le rôle modeste mais incroyablement efficace de certains de ces décomposeurs, pourtant bien modestes et bien discrets : les minuscules asticots des moucheron Sciaridae qui réalisent une incroyable dentelle en consommant les parois cellulaires des feuilles mortes, aidés en cela par leurs enzymes digestifs. Le sol est un univers à lui tout seul de ce point de vue, avec des milliers de

²³⁶ Commissariat général au Développement durable - Ministère de la Transition écologique - Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques. (2021). *Les usages récréatifs des forêts métropolitaines - Un état des lieux des pratiques et des enjeux*. La documentation française, 189 pp.

capacités et de comportements différents chez des organismes souvent minuscules, toujours discrets mais indispensables.

Quoi qu'il en soit, la formation des sols n'est pas immanente : elle peut prendre de 10 ans à deux millions d'années !²³⁷ De beaux sols bruns humiques sous climat tempéré, ceux que nous aimons contempler fraîchement labourés et que nous percevons comme des symboles de fertilité, sont généralement âgés d'au moins plusieurs siècles, sinon de plusieurs millénaires. Par contre, quelques années suffisent pour qu'un sol soit stérilisé par des pesticides et ne comporte plus les organismes indispensables à son bon fonctionnement ou pour qu'il disparaisse par érosion après suppression du couvert végétal sur un versant pentu. Là encore, une sonnette d'alarme devrait retentir dans nos esprits : d'après l'IPBES, un tiers des sols arables du monde a ainsi disparu ; ce phénomène dramatique a des causes multiples, mais toutes liées aux activités humaines²³⁸. Un exemple récemment quantifié par télédétection montre qu'un tiers de la gigantesque surface de la « ceinture du maïs » (midwestern corn belt) au USA a perdu le premier horizon (=couche) du sol, causant déjà une perte de rendement de 6%, et ce malgré les intrants utilisés²³⁹.

Importance d'un service ne signifie pas pour autant toujours quantité de biodiversité. C'est une erreur commune que nous faisons tous de penser qu'il existe toujours une relation proportionnelle quantitative entre la biodiversité et les processus naturels. Bien évidemment, il est des situations qui répondent à cette règle : plus de vaches élevées dans le monde, et plus de méthane libéré ; plus de forêts dévastées, plus de carbone libéré, etc. Mais il existe également de nombreux phénomènes dans lesquels les espèces rares jouent des rôles primordiaux, sans rapport avec leur faible abondance²⁴⁰. C'est bien souvent l'intrication des réseaux alimentaires ou des autres relations écologiques qui stabilisent des écosystèmes et leur permettent de fonctionner et nous assurent des

²³⁷ Delgado-Baquerizo M. et al. (2020). The influence of soil age on ecosystem structure and function across biomes. *Nature Communications*, 11, 4721.

²³⁸ Prăvălie R., Patriche C., Borrelli P., Panagos P., Roșca B., Dumitrașcu M., Nita I.-A., Săvulescu I., Birsan M.-V. & Bandoc G. (2021). Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. *Environ Res*, 194, 110697.

²³⁹ Thaler E.A., Larsen I.J. & Yu Q. (2021). The extent of soil loss across the US Corn Belt. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118, e1922375118.

²⁴⁰ Mouillot D. et al. (2013). Rare Species Support Vulnerable Functions in High-Diversity Ecosystems. *PLoS Biol*, 11, e1001569.

services que nous attendons ; et c'est pourquoi la perte de biodiversité est un drame, même lorsqu'elle ne touche que des organismes qui nous paraissent exotiques ou accessoires²⁴¹. D'innombrables exemples pourraient être cités à cet égard et le choix des exemples s'avère toujours difficile. On peut ainsi citer proche de nous l'Osmie cornue (*Osmia cornuta*), une petite abeille sauvage, qui vole tôt dans la saison et pollinise bien des plantes sauvages mais aussi celles des vergers à floraison précoce au moment où les abeilles domestiques sont encore engourdies par le froid²⁴² : une seule abeille visite entre 9000 et 26000 fleurs pendant la floraison des vergers d'amandiers et trois femelles suffisent théoriquement à polliniser un amandier entier ! Ou encore un autre exemple, la loutre de mer mange les oursins antagonistes des forêts d'algues dans le Nord Pacifique et préserve donc ces dernières. La chasse outrancière des loutres a conduit à leur fort déclin, amenant à la destruction des forêts marines ; la régulation de la chasse aux loutres a permis le rétablissement de leurs populations et la croissance renouvelée des forêts d'algues²⁴³. Ni les osmies ni les loutres ne sont pourtant des espèces surabondantes et on ne parierait pas a priori sur l'importance de leur rôle écologique, qui s'avère pourtant clé dans leurs écosystèmes respectifs, ce qui amène à les appeler quelquefois espèces clés-de-voûte. Si on les enlève, tout s'effondre !

En regard de tous ces services ou de ces contributions, nous méconnaissons la puissance de la biodiversité et par conséquent nous ne prenons pas non plus conscience de l'importance des problèmes causés par son déclin. Nous avons restreint drastiquement le nombre d'espèces ou de variétés cultivées ou élevées, les sols arables disparaissent, nous devenons donc vulnérables et nos productions alimentaires utiles plafonnent tandis que les élevages pour la viande s'accroissent démesurément et sans utilité. Des épidémies se multiplient et la dernière d'entre elle paralyse le monde. Il nous faut nous projeter dans l'avenir et mesurer les effets de la contribution décroissante de la biodiversité à notre environnement. Tenir un tel discours, réaliste au plan scientifique, est évidemment anxiogène ou peut paraître naïvement catastrophiste. En suscitant

²⁴¹ Cardinale B.J. et al. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486, 59-67.

²⁴² Bosch J. (1994). The nesting behaviour of the mason bee *Osmia cornuta* (Latr.) with special reference to its pollinating potential (Hymenoptera, Megachilidae). *Apidologie*, 25, 84-93.

²⁴³ Pearse J.S. & Hines A.H. (1979). Expansion of a central California kelp forest following the mass mortality of sea urchins. *Marine Biology*, 51, 83-91.

antagonismes et rejets, il peut ne pas contribuer à une bonne résolution des problèmes. Mieux vaut donc parler immédiatement des solutions, plutôt que de s'en tenir aux seuls problèmes.

Comment sauver la planète sans souffrir !

Face aux crises environnementales majeures d'aujourd'hui, rien de pire que d'ignorer les signaux d'alerte en les traitant comme hystérie ou populisme vert. Rien de pire aussi que de prédire le désastre comme s'il était inéluctable et de ne recommander que des solutions sous forme d'efforts pénibles et des sacrifices. Les deux stratégies conduisent inévitablement à un immobilisme nourri par le refus de la réalité, alors qu'il est possible d'aller vers des solutions de manière efficace et confortable. Pour ce faire, inspirons nous des travaux des environmentalistes, en particulier lorsqu'ils ont été confrontés au déni de la crise climatique.

Prendre conscience de la puissance de la biodiversité

Notre premier besoin est de comprendre et de percevoir la biodiversité pour ce qu'elle est réellement, ainsi que je l'ai évoqué dans ce livre. Il est impossible d'analyser ou d'intervenir dans une situation réelle qui n'est pas perçue ou comprise correctement. Paradoxalement, des circonstances tragiques comme celles de la covid-19 offre une opportunité unique de réaliser à quels enjeux nous sommes confrontés. Le monde invisible des microbes s'est invité dans notre vie quotidienne avec une telle force que nous pouvons difficilement le traiter à la légère, aussi invisible soit-il. Nous percevons enfin la puissance colossale de la biodiversité, en l'occurrence pour notre plus grand malheur. Colossale par sa richesse, des milliers d'espèces de mammifères sont en relation avec des millions de microbes différents, bactéries ou virus. Colossale par sa complexité, les différents Coronavirus interagissent selon les cas, de bénins chez leur hôte rhinolophes à potentiellement mortels chez les pangolins ou chez les humains. Colossale par sa capacité à évoluer et à demeurer insaisissable : nous comprenons que nos remarquables vaccins doivent être adaptés à des organismes qui évoluent et n'ont d'utilité tant que les virus n'ont pas encore trop changé. Tout comme Alice aux côtés de la reine rouge de Lewis Carroll, nous devons courrir au moins à la même vitesse qu'un

paysage en mouvement pour sembler rester immobile²⁴⁴ : nous devons ainsi vacciner suffisamment de personnes avant que le virus n'ait trop changé, réduisant ainsi sa population et corrélativement le nombre de ses mutants. Et nous devons aussi prêter attention à l'évolution de sa virulence, en évitant de la sélectionner lorsque nous élaborons des thérapeutiques²⁴⁵. La puissance extraordinaire de notre technologie ne nous offre pas l'arme de destruction massive, le désinfectant ou le médicament antiviral dont beaucoup ont rêvé, des « magic bullets » à l'image de nos pesticides super-toxiques ou des balles bien réelles tirées lors des parties de chasse. Je me prends à rêver que nous comprenions tous maintenant quelle affinité et quelle subtilité nous devons avoir face à la biodiversité. Impossible de lutter brutalement, nous devons composer, nous adapter rapidement, ruser avec des campagnes de vaccination programmées de manière opportune, et surtout ne pas détruire aveuglément au risque de provoquer de désastreuses réactions en chaîne.

Seul demeure le problème fondamental de notre regard porté sur les organismes ... quoique la chauve-souris a peut-être gagné en lettres de noblesse. Les nombreuses espèces de ces petits mammifères (plus de 1200) représentent autant ou beaucoup plus d'espèces de virus. A défaut d'être sympathiques, les chauve-souris nous paraissent aujourd'hui au moins redoutables et dignes d'intérêt. Les plaidoyers pour mieux les comprendre ont également fleuri face à leur contempteurs, et nous découvrons leurs extraordinaires adaptations ou leur utilité écologique, par exemple en tant que grandes prédatrices de moustiques. Quant au pangolin évoqué un temps à tort comme réservoir possible du Sars-Cov-2, grand ignoré exotique et étrange, moqué pour son allure²⁴⁶, il apparaît victime comme nous, et des trafics, et du virus. Les dizaines de milliers de pangolins javanais capturés, tués et depecés chaque année pour leur viande ou la magie de leurs écailles sont devenus un symbole des trafics absurdes et nuisibles. Peut être

²⁴⁴ Van Valen, L. (1977). The red queen. *The American Naturalist*, 111(980), 809-810.

²⁴⁵ Alizon, S. (2020). *Evolution, écologie et pandémies. Faire dialoguer Pasteur et Darwin*. Points Sciences, Paris.

²⁴⁶ « Le pangolin mesure un mètre. Sa femelle s'appelle la pangoline. Elle ne donne le jour qu'à un seul petit à la fois, qui s'appelle Toto. Le pangolin ressemble à un artichaut à l'envers prolongé d'une queue à la vue de laquelle on se prend à penser que le ridicule ne tue plus. » In Desproges, P. (1985). *Dictionnaire superflu à l'usage de l'élite et des bien nantis*. Le Seuil, Paris.

finalement y-a-t-il un espoir pour que notre esprit et notre affect aillent au delà de nos intérêts immédiats ?

Bienvenue dans le monde réel

Quelques décennies de pédagogie et de négociations concernant la crise climatique nous ont enseigné combien il est difficile de passer du constat scientifique à l'action sociétale²⁴⁷. Une des principales difficultés réside dans la distance apparente entre le présent et nos problèmes futurs, aussi graves ceux-ci peuvent-ils paraître. Cette distance dans le temps combinée au filtre de nos interactions sociales ralentit ou retarde toutes nos prises de décision. Nous attendons que les autres - les collègues, les amis, les dirigeants, les gouvernements, etc. - réagissent. Nous nous rassurons mutuellement par des évocations. Nous aurions envie d'identifier un ennemi bien précis - par exemple, des responsables coupables d'inaction ou de mauvaises mesures - plutôt que de reconnaître notre implication quotidienne dans une série de dommages (déforestation, extractions, pollutions, etc.) dont nous sommes partie prenante par notre consommation irréfléchie. Et nous avons bien du mal à conjuguer l'émotion qui doit nous motiver et la raison qui doit nous faire agir de manière idoine²⁴⁸.

Encore une fois, la pandémie de la covid-19 nous met face à nos obligations mais est-il bien compris par tous que la crise de la biodiversité est à l'origine de cette pandémie ? Dès Mars 2019, un avis que j'ai publié avec mon collègue Jean-Lou Justine sur ce sujet a fait florès mais a aussi été l'occasion de mesurer la répugnance et le refus de certains médias et de certaines personnes de constater ce qui est une évidence²⁴⁹. Même après les expertises collectives de la FRB et de l'IPBES disponibles dès Juillet 2020 et parfaitement unanimes sur cette question, l'opinion reste suspendue aux hypothèses

²⁴⁷ Stoknes P.E. (2014). Rethinking climate communications and the “psychological climate paradox”. *Energy Research & Social Science*, 1, 161-170.

²⁴⁸ Marshal, G. (2017). *Le Syndrome de l'autruche: Pourquoi notre cerveau est programmé pour ignorer le changement climatique*. Éditions Actes Sud.

²⁴⁹ Grandcolas, P. & Justine, J.L. (2020). Covid-19 ou la pandémie d'une biodiversité maltraitée. *The Conversation*. <https://theconversation.com/covid-19-ou-la-pandemie-dune-biodiversite-maltraitee-134712>

complotistes (erreurs dans un laboratoire de virologie) et à la recherche du chaînon manquant (l'hôte intermédiaire entre chauve-souris et humains).

Bien entendu, des erreurs se sont déjà produites dans des laboratoires de virologie et nul n'est malheureusement à l'abri des graves conséquences d'une incompétence dans ce domaine. Mais il est néanmoins vraiment paradoxal de voir exclusivement l'origine d'un virus pandémique dans une fuite de laboratoire alors que les virus sont omniprésents autour de nous, y compris par milliards sur notre propre corps. Un peu comme si ayant vu un oiseau peu commun que nous ne connaissons pas dans notre jardin hier (un pinson ou une gros-bec par exemple), nous imaginions immédiatement qu'il est échappé d'un laboratoire ou d'un élevage. Et les mêmes médias qui ont adhéré à la fable des armes de destruction massive d'explorer minutieusement cette seule hypothèse ! C'est oublier de manière absurde la biodiversité omniprésente autour de nous, les millions d'hectares de forêts, les milliers de mammifères, les milliards de micro-organismes, y compris tous ceux proches de nous, que nous consommons, que nous élevons, que nous hébergeons involontairement. Encore une fois, l'invisibilité des microbes nous joue des tours, nous restons aveugles et nos hypothèses de situations – quelque soient leur cohérence intrinsèque – relèvent bien souvent plus du fantasme que de la réalité.

En outre, la fable du virus échappé de laboratoire confond superbement l'effet et la cause première. C'est parce qu'il y a des pathogènes et des animaux réservoirs qu'il y a des laboratoires de virologie médicale cultivant ces pathogènes et où il pourrait éventuellement advenir des accidents. Si jamais le SARS-Cov-2 était sorti par accident d'un laboratoire – ce qui est possible mais ne devrait être évoqué qu'avec de solides arguments factuels –, cela voudrait d'abord dire qu'il y a été vraisemblablement amené par des scientifiques en provenance du milieu naturel où il avait déjà évolué antérieurement. Parce que c'est un problème important dont la science doit se saisir. Notre première constatation et notre préoccupation devrait plutôt être de combler le vide de connaissances que nous avons sur les virus hébergés par les mammifères de l'Asie du Sud Est et de la Chine. Les grands trous sur la carte entre Thaïlande, Vietnam, Cambodge, le Yunnan – zone d'endémie des Coronavirus apparentés – et Wuhan – lieu

présupposé de naissance de la pandémie, ne montrent qu'une chose : notre extrême ignorance.

La recherche de l'hôte intermédiaire, fantasmé comme une sorte de chaînon manquant, est aussi un exemple de notre esprit d'escalier et de notre incompréhension des phénomènes évolutifs. Chauve-souris rhinolophes et pangolins ont été incriminés très tôt, sur la base des virus apparentés au SARS-Cov-2, qu'ils hébergeaient dès 2017²⁵¹. Cependant, l'appareillage des virus est chose complexe : évoluant à la fois par mutations et par recombinaisons, le caractère composite de leur ARN n'a pas toujours été compris à juste titre²⁵². La recombinaison ou le réassortiment sont des termes techniques qui ne disent pas grand chose aux profanes, et pourtant deux virus apparentés parasitant la même cellule sont parfois capables de constituer une étrange chimère mosaïque mettant bout à bout des morceaux d'ARN de l'un et de l'autre. Le SARS-Cov-2 est bien une mosaïque ayant évolué à partir de virus apparentés, dont les parties modifiées ramènent inmanquablement aux chauve-souris rhinolophes, sous réserve de continuer à explorer d'autres mammifères aux charges virales encore inconnues²⁵³.

De plus en plus de données renforcent néanmoins les hypothèses scientifiques à propos des rhinolophes, à mesure que les indispensables études de terrain se succèdent²⁵⁴. Du constat final dans quelques mois ou quelques années dépendra aussi la compréhension de la situation environnementale qui a été à l'origine de la pandémie. Tous ces organismes, mammifères et virus évoluent dans un environnement morcelé, fragmenté, déforesté, générant une promiscuité croissante et malsaine avec les humains. La dénonciation de la déforestation et de son rôle terriblement néfaste, ouvrant la forêt aux traffics et aux élevages d'animaux n'est pas une posture politicienne mais bien un

²⁵¹ Lam T.T.-Y. et al. (2020). Identifying SARS-CoV-2 related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature*, 583, 282-285.

²⁵² Sallard E., Halloy J., Casane D., van Helden J. & Decroly É. (2020). Retrouver les origines du SARS-CoV-2 dans les phylogénies de coronavirus. *Médecine Sciences (Paris)*, 36, 783-796.

²⁵³ Hassanin, A., Rambaud, O., 2023. Retracing Phylogenetic, Host and Geographic Origins of Coronaviruses with Coloured Genomic Bootstrap Barcodes: SARS-CoV and SARS-CoV-2 as Case Studies. *Viruses*, 15, 406.

²⁵⁴ Wacharapluesadee S. et al. (2021). Evidence for SARS-CoV-2 related coronaviruses circulating in bats and pangolins in Southeast Asia. *Nature Communications*, 12, 972.

Hul V. et al. (2021). A novel SARS-CoV-2 related coronavirus in bats from Cambodia. *bioRxiv*, 2021.01.26.428212.

combat primordial de notre époque. Il nous faut nous réapproprier ce monde réel et cesser de ne le voir qu'à travers les médias ou nos sens insuffisants.

Soyons heureux !

Cette biodiversité que nous avons tant de mal à percevoir, que nous maltraitons maladroitement au point de nous porter grand tort est pourtant source de tant de bienfaits et de joies. Qui n'a pas éprouvé un sentiment de bien-être et de profond bonheur à l'ombre d'un grand arbre en été, à contempler des fleurs, à écouter le chant d'un oiseau, ou à nous régaler avec un plat - de biodiversité ! - délicieusement cuisiné ? Nous aimons le vivant, c'est une de nos caractéristiques biologiques comme l'a expliqué le grand évolutionniste Edgar O. Wilson, autant s'en rendre compte et l'assumer jusqu'au bout !²⁵⁵

Notre relation à la diversité du vivant doit néanmoins rester bien réelle. La déconnexion entre notre raison et nos émotions nous paralyse et seule la confrontation au réel peut nous mobiliser et nous faire agir²⁵⁶. Ecouter une brillante démonstration scientifique sur la crise environnementale actuelle n'est pas suffisant. Nous devons éprouver de l'empathie ou une connexion émotionnelle pour des personnes ou des êtres vivants innocents souffrant gravement de cette crise. Quand nous plaignons très sincèrement les victimes d'une catastrophe climatique (inondation, canicule, etc.), nous sommes infiniment plus motivés pour agir en conséquence, d'autant plus que l'événement est pour nous bien réel parce qu'il frappe des parents ou des voisins. Etre témoin médiatique d'un drame via la télévision nous émeut à bon compte, et nous rend le plus souvent seulement piètre acteur virtuel.

Nous admirons des girafes dans de splendides films animaliers, girafes que nous ne verrons probablement jamais pour de vrai sauf peut-être dans un parc zoologique. Mais

²⁵⁵ Wilson, E.O. (1984). *Biophilia - The human bond with other species*. Harvard University Press, Cambridge.

²⁵⁶ Marshal, G. (2017). *Le Syndrome de l'autruche: Pourquoi notre cerveau est programmé pour ignorer le changement climatique*. Éditions Actes Sud.

ces belles images nous satisfont momentanément, nous anesthésient et nous cachent combien elles sont aujourd'hui en danger dans la nature²⁵⁷. De plus en plus nombreux à rester enfermés dans des mégapoles ou des centres villes, nous ne cotoyons plus la nature et nous fronçons le nez si d'aventure nous sommes en présence d'une étable ou d'un animal sauvage odorants. La biodiversité n'est pas seulement légumes surgelés de supermarchés, chats stérilisés et pucés, blattes domestiques, arbres d'alignements urbains, champs de colza sous multiples perfusions d'intrants ; la biodiversité est aussi tous ces animaux, renards, blaireaux, abeilles, mouches, bousiers, champignons, plantes, et tous les autres que nous avons perdu l'habitude de cotoyer et dont nous devons accepter l'existence.

Reconnection signifie mieux percevoir, accepter, considérer, apprécier, être en capacité de comprendre. Aujourd'hui, il est patent que de nombreux humains sont de en plus déconnectés de la nature et de la biodiversité, même si ce constat très général doit être précisé et affiné²⁵⁸. La perte d'expérience du contact avec la diversité du vivant se généralise²⁵⁹, au point que même les dessins animés comportent de moins en moins de références au monde de la nature²⁶⁰. Pour nous reconnecter, Il nous faut donc plus de nature en ville, mais aussi plus d'humains dans la nature ! La situation n'est pas désespérée : des citoyens peuvent rester fortement connectés si les parcs urbains sont suffisamment développés par exemple²⁶¹. Le rôle des zoos et des aquariums, visités par des millions de citoyens, est également potentiellement très important à cet égard²⁶². Je n'ignore pas que de se référer à la captivité des animaux est une cause difficile à soutenir à ce jour. Il y a là souvent l'occasion d'une terrible confusion entre captivité et maltraitance qui porte gravement préjudice aux animaux ; ce qui pose un problème

²⁵⁷ Courchamp F., Jaric I., Albert C., Meinard Y., Ripple W.J. & Chapron G. (2018). The paradoxical extinction of the most charismatic animals. *PLoS Biology*, 16, e2003997.

²⁵⁸ Colléony A., Cohen-Seffer R. & Shwartz A. (2020). Unpacking the causes and consequences of the extinction of experience. *Biological Conservation*, 251, 108788.

²⁵⁹ Soga M. & Gaston K.J. (2016). Extinction of experience: the loss of human-nature interactions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14, 94-101.

²⁶⁰ Prévot-Julliard A.-C., Julliard R. & Clayton S. (2014). Historical evidence for nature disconnection in a 70-year time series of Disney animated films. *Public Understanding of Science*, 24, 672-680.

²⁶¹ Oh R.R.Y., Fielding K.S., Carrasco R.L. & Fuller R.A. (2020). No evidence of an extinction of experience or emotional disconnect from nature in urban Singapore. *People and Nature*, 2, 1196-1209.

²⁶² Clayton S., Fraser J. & Saunders C.D. (2009). Zoo experiences: conversations, connections, and concern for animals. *Zoo Biology*, 28, 377-397.

aujourd'hui, c'est la maltraitance au naturel comme au captif. Les zoos et aquariums bien menés doivent donner aux animaux des conditions de bien-être au moins aussi significatives que dans le milieu naturel et ils contribuent en outre à la conservation des espèces rares ou vulnérables. La reconnection aux animaux dans les zoos et aquariums doit aussi être une éducation indispensable à la bienveillance et à l'altérité.

Cela dit, le sujet de la relation à la biodiversité est énorme et il serait illusoire de penser qu'augmenter une simple familiarité avec la biodiversité va permettre de faire comprendre instantanément des sujets aussi différents que les problématiques de conservation, les services écosystémiques rendus, le bien-être résultant de la fréquentation du vivant ou encore l'éthique pour le vivant²⁶³. Fondamentalement, il nous faut non seulement voir la biodiversité pour de vrai, la ressentir, interagir de manière idoine, mais aussi nous éduquer à son fonctionnement, comprendre qu'elle est en perpétuel équilibre et encline à évoluer rapidement. Cela suppose des programmes d'enseignement adéquats à l'école, au collège, au lycée et dans n'importe quel cursus professionnel. Précisément ceux qu'il aurait fallu réviser, simplifier et adapter ... et ne pas supprimer au lycée, comme cela vient d'être fait en France. Sans oublier non plus la transmission directe entre science et citoyens, a posteriori de l'enseignement et par tous les moyens possibles, de la diffusion des connaissances (livres, journaux, conférences, podcasts, etc.) aux sciences participatives, en passant par les politiques RSE.

Pour parler moi-même devant des publics variés, des collégiens, des habitants de municipalités, des professeurs, des agents territoriaux, ou des cadres des grands groupes industriels, je constate quelle faim et quels besoins impérieux nous avons tous de ces sujets. Un élève, un artisan, un préfet ou un cadre dirigeant, tout comme chaque citoyen, ont un immense besoin de se reconnecter pour de vrai à la nature par la raison et par l'émotion. Comprendre, ressentir et gérer de manière appropriée.

²⁶³ Colléony A. & Shwartz A. (2019). Beyond Assuming Co-Benefits in Nature-Based Solutions: A Human-Centered Approach to Optimize Social and Ecological Outcomes for Advancing Sustainable Urban Planning. *Sustainability*, 11.

Rien de tel aussi que le bonheur pour réduire les dissonances cognitives, ces tensions pouvant exister entre un comportement favorable à la biodiversité et nos idées, croyances ou positionnement sociétal. Un citoyen doit pouvoir se soucier sincèrement de l'état de l'environnement, refuser des pollutions dramatiques et percevoir avec perspicacité les problématiques de biodiversité, quelque soit son origine sociale, sa profession ou son parti politique préféré. Hélas, nous savons tous que la situation individuelle de chacun n'est pas neutre à cet égard ; un syndicat agricole auquel un tel est affilié prônera la continuation des épandages de pesticides ou de fertilisants, un journal dont tel autre est lecteur ou ses amis ou sa famille fustigeront le décroissantisme ou la naïveté présumés de certaines approches écologiques. Les clivages culturels bloquants se multiplient, entre chasseurs et animalistes, entre éleveurs et végétariens, entre agriculteurs épandeurs et leurs voisins, etc. Ils ne résolvent rien et aboutissent à des blocages sociaux, dans lequel chaque groupe, majoritaire dans un secteur différent de la société, pense avoir le fin mot dans une lutte associative ou politique dont l'issue reste trop lointaine. Tout en intégrant le dialogue avec les différents corps professionnels ou associations, il faut que l'arbitrage final de ces élégances sociétales soit bâti sur une réelle expertise scientifique collégiale de chaque sujet, écologie, médecine, climatologie, philosophie, etc., intégrées pour le meilleur dans une même approche.

Bien sûr, la collégialité des évaluations scientifiques, comme celles du GIEC ou de l'IPBES, des Académies, des collèges d'organismes de recherche, d'abord doutées et maintenant plus largement acceptées, doit pouvoir convaincre la société des constats de la science, dans ce qu'elle révèle de consensuel et d'avéré au jour d'aujourd'hui. Il est primordial que la science se fasse entendre ainsi au cœur de la société, sans que son message puisse être perverti ou douté sur ses fondamentaux, notamment suite aux discours de quelques faux experts ou de lobbyistes. Il faut aussi que chacun comprenne que la science a ses propres moments de controverse, qu'elle évolue constamment suite aux études et aux découvertes mais qu'elle a aussi ses avis avérés et consensuels sur lesquels aucun doute ne subsiste ; telle affirmation scientifique ponctuelle peut être corroborée un jour et réfutée le lendemain suite à une nouvelle étude, sans que cela dénote une volonté de tromper ou même une maladresse. Les conclusions de la science sont évidemment infiniment plus stables lorsqu'elle traite de sujets globaux dans de

vastes champs d'étude avec le recul de nombreuses années : c'est tout l'intérêt des expertises collégiales sur de vastes sujets. Ainsi, affirmer que la déforestation occasionne le développement de zoonoses est aujourd'hui parfaitement avéré ; le cas de la covid-19, bien que paraissant aller dans ce même sens, demeure encore à confirmer avec les études en cours sur les animaux réservoirs de virus en Asie du Sud-Est et en Chine²⁶⁴.

Au vu et au su de ces apports à la connaissance, chacun d'entre nous doit pouvoir rationnellement et en toute liberté, adopter ce qui est validé par la science. Seul le bonheur d'être connecté à la biodiversité et à l'environnement nous le permet, en nous ouvrant à cette écoute et à cette problématique, sans peur, frustration ni exaspération liées à d'éventuelles dissonances. Envisager des changements aux conséquences positives doit être source de bonheur, de confort et de plaisir. Persuader d'autres personnes de saisir des opportunités ne passera jamais par la recommandation d'efforts pénibles et désagréables, de décisions d'abandons ou de profonds regrets. Oui, il est bon de pouvoir manger des produits sains et locaux, de se promener dans la nature sans craindre de respirer des produits toxiques, d'être en contact avec le vivant même dans un parc public en ville, ou de vivre honorablement de sa belle activité quand on est un agriculteur ou un éleveur ! Tous les changements qui vont dans ce sens sont agréables à envisager et nous devons être heureux de les accepter.

Dans tous les cas, nous devons nous réapproprier nos responsabilités en étant conscient des conséquences positives et collectives de nos actes. A l'échelle individuelle, ne pas épandre de pesticides ou de fertilisants dans son jardin, laisser un arbre vivre malgré les feuilles mortes à balayer à l'automne, voire en planter un, consommer des produits de circuits courts, etc. sont autant de petits gestes qui ont de fortes conséquences quand ils sont multipliés par millions. Nous devons en être conscients. Cette somme de petits actes citoyens, même s'ils ne dédouanent pas les pouvoirs politiques des mesures à prendre, sont la juste expression d'une responsabilité collective, une sorte d'inverse de

²⁶⁴ Silvain, J.F. et al.. (2020). *Mobilisation de la FRB par les pouvoirs publics français sur les liens entre Covid-19 et biodiversité*. [Rapport de recherche] FRB, 54 p. <https://www.fondationbiodiversite.fr/mobilisation-de-la-frb-par-les-pouvoirs-publics-francais-sur-les-liens-entre-covid-19-et-biodiversite/>

la tragédie des communaux, où la somme des individualités égoïstes amènerait au désastre, en excédant la capacité limite d'un milieu²⁶⁵.

Mettre des limites à l'égoïsme et à la mauvaise foi de certains acteurs de la société passe aussi par la reconnaissance du crime d'écocide et de doter des environnements d'une personnalité juridique²⁶⁶. La peur de la punition ne supprimera pas les comportements abjects mais peut grandement limiter leurs dominance et leur impunité ; l'antagonisme de certains cercles et lobbies professionnels face aux tentatives récentes de mise en place de telles lois dans plusieurs pays montre qu'il y a bien un enjeu en la matière.

Solutions fondées sur la nature ou bioinspiration

Certes, la biodiversité est en partie invisible, toujours en mouvement, et difficile à saisir avec ses interactions et son évolution, mais tellement riche et propice à nous aider si nous savons saisir les nombreuses occasions offertes. La majeure partie de nos activités économiques peut être fondée sur la biodiversité et ses enseignements, si nous savons les rendre durables. Les solutions fondées sur la nature et la bioinspiration nous montrent de nombreux chemins positifs. Ces termes ont émergés ces dernières années lors de débats d'idées, dans lesquels il est apparu que nous devons non pas nous opposer au vivant mais au contraire nous inspirer de son fonctionnement et de ses propriétés. Les solutions fondées sur la nature inspirées par l'action de l'IUCN (l'Union internationale pour la conservation de la nature) visent à garder, optimiser ou à retrouver des écosystèmes fonctionnels et proposent de restaurer ou de développer les fonctions des écosystèmes pour répondre à des besoins humains²⁶⁷. L'idée est de créer des systèmes gagnant-gagnant dans lesquels nous tirons avantage d'écosystèmes ou d'une biodiversité dont l'existence et le fonctionnement sont préservés, qu'il s'agisse d'agroécologie ou d'aires protégées.

²⁶⁵ Hardin G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162, 1243-1248.

²⁶⁶ Cabanes, V. (2016). *Un nouveau droit pour la Terre. Pour en finir avec l'écocide*. Média diffusion.

²⁶⁷ Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., Maginnis, S. (eds.), 2016. *Nature-based Solutions to address global societal challenges*. Gland, Switzerland: IUCN.

Ainsi, nous devons changer peu à peu, lentement mais inexorablement, nos systèmes d'exploitation agricole ou d'élevage²⁶⁸. Aujourd'hui, 71% des terres agricoles européennes sont dédiées à l'alimentation animale et 10% de la déforestation en Amazonie est également lié à nos besoins européens en la matière. Nous perturbons gravement les écosystèmes de cette manière alors qu'il n'y a nul besoin de produire autant de viande – sans priver pour autant les amateurs d'entrecôtes ou de gigots – et surtout aussi mal. Par contre, nous avons un besoin immense de filières courtes de production alimentaire de qualité honorable, dont les prix resteraient au final acceptables. Interviewé par des membres du directoire mondial d'une grande chaîne de supermarchés, j'ai entendu la préoccupation de pouvoir fournir des produits de proximité de qualité mais l'impossibilité de le faire immédiatement à cette échelle gigantesque, faute de producteurs et de circuits appropriés. Tout un système de circuits courts à recréer, qui ne déforesterait pas, qui maintiendrait la diversité des habitats, qui n'aurait pas un tel besoin d'épandre d'inutiles quantités de pesticides et qui ne serait pas soumis aux fulgurantes épidémies de grippe aviaire ou de peste porcine dans des élevages géants en vase clos²⁶⁹. La rentabilité d'un tel système agro-écologique, y compris et d'abord pour les agriculteurs et les éleveurs, peut être remarquable²⁷⁰, avec en outre l'immense avantage, certes non imputable à la comptabilité de l'entreprise, de supprimer bien des externalités négatives du système industriel actuel. C'est aussi le moment de relativiser l'argument du besoin impérieux d'une production de masse qui serait seule capable de nourrir la population mondiale en croissance. Cette dernière – par ailleurs en proche stabilisation – ne se nourrit pas que de mauvaises viandes, de sirops de glucose de betterave, d'huile de colza ou de palme, ou de poulets anémiques à nuggets. La majeure partie de la population mondiale se nourrit des produits de très petites exploitations de proximité²⁷¹ et n'a pas les moyens d'acheter de mauvais produits transformés dont la fabrication détruit la planète et qui sont destinés à une

²⁶⁸ Pe'er G. et al. (2020). Action needed for the EU Common Agricultural Policy to address sustainability challenges. *People and Nature*, 2, 305-316.

²⁶⁹ Leclair L. (2020). *Pandémies, une production industrielle*. Seuil, Paris.

²⁷⁰ Nemes, N. (2009). *Comparative analysis of organic and non-organic farming systems: A critical assessment of farm profitability*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

²⁷¹ Lowder S.K., Scoet J. & Singh S. (2014). What do we really know about the number and distribution of farms and family farms in the world? Background paper for The State of Food and Agriculture 2014. *ESA Working Paper* 14-02.

Graeub B.E., Chappell M.J., Wittman H., Ledermann S., Kerr R.B. & Gemmill-Herren B. (2016). The State of Family Farms in the World. *World Development*, 87, 1-15.

fraction riche et passablement mal portante de la population mondiale. Pour le reste, des circuits courts et sans excès d'intermédiaires permettraient aux pays riches de produire moins, mieux et à prix néanmoins acceptable. Dans ces mêmes pays, l'augmentation du niveau de vie et l'éducation seraient les meilleurs remèdes à la surproduction de viande de mauvaise qualité. La surconsommation de mauvais produits carnés n'est pas un marqueur social de richesse dans les pays développés, contrairement à de tenaces idées reçues²⁷². Comme en regard de nombreux autres problèmes, qu'ils soient économiques, médicaux ou sociaux, une meilleure redistribution des richesses rendrait ses bénéfices au centuple pour nos sociétés, y compris au plan environnemental.

En parallèle à ces incitations, il est indispensable d'accentuer la politique de mise en réserve intégrale de grandes surfaces d'écosystèmes au niveau mondial. Notre monde se meurt de mauvaises pratiques dans les écosystèmes fortement occupés par les humains modernes. Il ne faut pas pour autant oublier qu'une partie significative de la biodiversité se trouve dans des espaces restreints infiniment moins perturbés et peu peuplés. Nous avons donc le devoir impératif de préserver ces espaces en les mettant en réserve, en nous assurant qu'ils englobent un espace suffisant pour accueillir des populations viables de participants à un écosystème. Les réserves intégrales sont parfois critiquées pour avoir le double inconvénient d'exclure les humains en deçà et d'encourager la destruction au delà. C'est pourtant un dispositif indispensable parmi d'autres, avec l'établissement de zones réglementées et les protections ciblant les espèces, permettant aux écosystèmes de ne pas subir les pressions excessives de l'humanité moderne. Elles ne doivent évidemment pas exclure ou nier les droits des peuples premiers quand ils présents mais au contraire intégrer leur vie et leurs pratiques. Il faut rappeler que les peuples autochtones gèrent plus du quart des terres du globe. Certes, les réserves et les parcs trouvent leur origine dans une vision occidentale passablement romantique ou coloniale de la préservation d'un monde naturel inviolé. L'accroissement de ces espaces protégés n'en est pas moins un moyen efficace pour permettre au monde de revenir en deçà des limites planétaires déjà dépassées²⁷³, au moins en termes de diversité

²⁷² ANSES (2017). *Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 (INCA 3). Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective*. ANSES, Santé Publique France, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation Paris.

²⁷³ Rockström J. et al. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475.

biologique²⁷⁴. Ces espaces protégés peuvent également devenir de précieux outils pour la reconnection des personnes à la nature, par le biais d'un écotourisme raisonné. Les surfaces protégées doivent néanmoins faire une vraie différence, en taille, en complémentarité et en localisation, par rapport à la situation présente. Mettre en réserve des endroits de la planète où personne ne met déjà ordinairement les pieds, pour la satisfaction apparente des indicateurs d'engagement des états aux objectifs d'Aïchi, ne suffira pas !

Plusieurs mécanismes structureaux peuvent être mis en œuvre pour favoriser un retour vertueux aux solutions naturelles, par exemple inciter à diminuer des externalités négatives en subventionnant uniquement les bonnes pratiques et mettre en œuvre une réelle compensation environnementale²⁷⁵. Subventions et compensations peuvent cibler la production alimentaire industrielle, grande perturbatrice des écosystèmes et première émettrice de gaz à effets de serre, mais aussi vers tout autre activité humaine qui impacte lourdement l'environnement, qu'il s'agisse de construction, de transport, ou de chauffage²⁷⁶. Utilisés avec rigueur, ces mécanismes financiers peuvent avoir le grand avantage de favoriser à la fois rentabilité et durabilité. Ainsi, cultiver et distribuer localement de manière agro-écologique, en utilisant peu de pesticides et en mutualisant gains et pertes permet une activité agricole rentable et productive, tout en supprimant de nombreuses externalités négatives. De nombreuses expérimentations le confirment²⁷⁷.

D'une manière générale, il est aujourd'hui indispensable de transformer les mouvements financiers pour qu'ils profitent à l'environnement au lieu de le détruire²⁷⁸. Un accord international sur ce sujet et incluant la biodiversité – sur le modèles des accords de Paris –, même s'il n'était pas contraignant, constituerait un énorme pas en

²⁷⁴ Hannah L. et al. (2020). 30% land conservation and climate action reduces tropical extinction risk by more than 50%. *Ecography*, 43, 943-953.

²⁷⁵ Vaissière A.-C., Quétier F., Calvet C., Levrel H. & Wunder S. (2020). Biodiversity offsets and payments for environmental services: Clarifying the family ties. *Ecol Econ*, 169, 106428.

²⁷⁶ Bajželj B., Allwood J.M. & Cullen J.M. (2013). Designing climate change Mmitigation plans that add up. *Environmental Science & Technology*, 47, 8062-8069.

²⁷⁷ Theurl M.C. et al. (2020). Food systems in a zero-deforestation world: Dietary change is more important than intensification for climate targets in 2050. *Science of The Total Environment*, 735, 139353.

²⁷⁸ Tobin-de la Puente, J. et Mitchell, A.W. (eds.), 2021. *Petit Livre de l'Investissement pour la Nature*, Global Canopy, Oxford.

avant. Un premier pas qui amène chacun à se rendre compte du problème et des solutions, qui ne peuvent plus être niés, sur le modèle de ce qui s'est passé pour le climat. Le refus de résoudre le problème ou d'employer les solutions devient alors pleinement critiquable.

Poursuivre ces efforts à l'échelle internationale est indispensable pour une autre raison évidente : notre monde n'est plus constitué depuis longtemps de pays ou de régions isolées. Tous les états, régions et villes du globe sont interconnectées et dépendent les uns des autres et ce qui est appelé la destruction importée de la biodiversité est devenu un problème majeur à notre époque mondialisée. L'Europe est par exemple responsable indirecte d'un tiers de la déforestation amazonienne avec ses importants achats de soja, de viande ou de cuir. Nous produisons sur le territoire métropolitain français des pesticides destinés à l'exportation, bien qu'ils soient aujourd'hui interdits à l'usage dans toute l'Europe parce que leur dangerosité a été démontrée. La Chine a une responsabilité encore plus grande dans la mauvaise évolution des milieux naturels africains notamment en extrayant, pétrole, minerais ou en développant bien d'autres activités destructives.

En tant qu'individus, nous pouvons aussi provoquer ces changements et cesser de cultiver un attentisme résigné et confortable, sans nous reposer sur le comportement des autres ou des gouvernants. Comme mon collègue Franck Courchamp l'a dit avec beaucoup de perspicacité, nous avons deux cartes dans la manche, la carte de crédit et la carte d'électeur²⁷⁹. Chaque jour, nous pouvons ainsi utiliser la première de manière à peser sur les systèmes de production, avec l'efficacité que confère des millions de comportements convergeant vers les mêmes solutions. Quant à la seconde, moins fréquemment utilisable, elle n'en est pas moins puissante, comme en témoignent les volets écologiques en fort développement de la plupart des programmes politiques actuels.

²⁷⁹ https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/05/06/menaces-sur-la-biodiversite-l-ambition-francaise-doit-etre-a-la-hauteur-de-sa-responsabilite-dans-le-monde_5458963_3244.html

Plus généralement, s'inspirer du vivant est non seulement source d'innovations de toutes sortes mais également une autre occasion de reconnecter sciences de la biodiversité et monde de l'entreprise, en inspirant de vraies politiques de responsabilité sociétale²⁸⁰. Prendre la nature comme modèle, comme une mesure ou comme un mentor, c'est faire l'expérience qu'elle a beaucoup à nous apporter²⁸¹. Il ne s'agit pas de créer de nouveaux produits industriels astucieux copiant la nature (vitre auto-nettoyantes, tissus déperlants, adhésifs repositionables, etc.) d'une manière qui continuerait à convertir ou à polluer l'environnement. Il s'agit bien de s'inspirer des règles de fonctionnement de la nature pour garder notre monde durable²⁸². Par exemple, plutôt que de déforester et de racler les sols et les roches dans des mines à ciel ouvert, mieux vaudrait développer la récupération des métaux comme le nickel dans des plantes hyper-accumulatrices et dépolluantes²⁸³. Ou s'inspirer de termitières cathédrales pour construire des bâtiments naturellement passifs en énergie plutôt que de favoriser une régulation active avec des procédés et des matériaux aux terribles externalités négatives²⁸⁴. Remplacer la majeure partie de nos procédés polluants et convertissants par des innovations bioinspirées amènerait une croissance réellement verte et durable. Il faut se projeter sans peur dans le futur et se rendre compte que nos bégaiements dans ces domaines vont rapidement gagner en force et en efficacité et qu'ils ont le pouvoir de transformer notre monde, aussi fortement que l'a été l'usage des combustibles fossiles il y a quelques siècles, mais cette fois dans un sens favorable à sa durabilité.

²⁸⁰ Benyus, J. M. (2011). *Biomimétisme: Quand la nature inspire des innovations durables*. Editions Rue de l'échiquier.

²⁸¹ Dicks H. (2016). The Philosophy of Biomimicry. *Philosophy & Technology*, 29, 223-243.

²⁸² Chapelle G. & Raskin K. coord. (2020). *Humanité bio-inspirée ; une autre approche*. Cherche Midi, Cité des Sciences et de l'Industrie.

²⁸³ Losfeld G., Escande V., Jaffré T., L'Huillier L. & Grison C. (2012). The chemical exploitation of nickel phytoextraction: An environmental, ecologic and economic opportunity for New Caledonia. *Chemosphere*, 89, 907-910.

²⁸⁴ Pawlin, M. (2019). *Biomimétisme et architecture*. Rue de l'échiquier, Paris.

Epilogue

La terre n'est plus plate depuis longtemps

600 ans avant notre ère, des humains s'interrogent sur la structure de notre monde et commencent à le concevoir comme une planète sphérique. Il faudra des siècles avant que le modèle d'une terre plate que nous croyons percevoir par nos sens individuels soit abandonné. Le rayon de courbure de la Terre est en effet si vaste que nous n'en avons que difficilement conscience, si ce n'est en voyant disparaître peu à peu un navire à l'horizon ; et encore cet observation ne semble-t-elle avoir joué aucun rôle dans l'adoption de l'idée d'une Terre sphérique²⁸⁵. Après la Terre sphérique, l'adoption du géocentrisme Copernicien suivra, plus tardivement, comme nous l'apprend la petite histoire des mésaventures de Gallilée face aux théologiens.

Aujourd'hui, la Terre vue de l'espace par les cosmonautes sacralise la justesse des hypothèses et des calculs des astronomes et des physiciens. Mais elle donne aussi à penser naïvement que nos sciences et notre technologie nous place très au dessus de notre planète et de ses contingences basement matérielles, notamment celles du vivant.

Loin s'en faut en effet pour que les humains aient un point de vue aussi éclairé sur la diversité du vivant qu'ils en ont sur la cosmologie. Négligeant les microbes récemment « inventés » et pourtant omniprésents, les fugaces interactions entre organismes et l'évolution biologique invisible et difficile à concevoir, nous avons bien du mal à comprendre la nature et la puissance de la biodiversité. Nos philosophies et nos conceptions du monde en témoignent depuis des siècles.

Très tôt avec Platon et Aristote, les organismes vivants sont vus comme différant fondamentalement les uns des autres par leur essence, et cette manière de voir ne permet pas d'envisager facilement une transition évolutive entre eux ou avec les humains. Chaque type organisme reste ainsi muré et isolé dans son essence spécifique,

²⁸⁵ Maury, J. P. (1994). *Comment la terre devint ronde*. Gallimard.

ainsi que nous avons encore tendance à le penser avec notre notion souvent caricaturale d'espèce vivante : les chiens ne font pas des chats, dit-on habituellement. Plus proche de nous, l'avènement d'un certain rationalisme des Lumières inauguré par Bacon ou Descartes, aussi positif soit-il à bien des égards, encourage les humains à se placer en position de maître du monde physique par leur pensée²⁸⁶. La fameuse phrase de René Descartes nous plaçant comme « maîtres et possesseurs de la nature » est souvent citée à cet égard, sans doute en trahissant ses intentions, mais ses épigones et ses lecteurs n'en pensent pas moins souvent ainsi. En bons rationalistes, nous cherchons des lois de la matière et nous oublions ou nous leur subordonnons la diversité du vivant. Cette diversité est certes remise à l'honneur par les évolutionnistes et la théorie de l'évolution, avec Charles Darwin au premier chef. Cette dernière étape au XIX^{ème} siècle arrive bien tardivement dans le cheminement intellectuel de l'humanité, plus de 2000 ans après les premiers penseurs de la cosmologie moderne.

Dans un étrange amalgame, notre conception moderne du monde vivant s'inspire à la fois des Lumières rationalistes qui nous placent en maître dominateur de l'environnement physique et de plusieurs grandes religions plaçant la nature hors des humains²⁸⁷. En effet, non contente de donner aux humains un statut de création divine particulière, la religion chrétienne, en particulier, assigne le vivant non-humain au paradis perdu, consacrant la nature sauvage sans les humains, tout au moins dans la vie terrestre²⁸⁸. Nous dominons, nous sommes à part et le vivant sauvage n'est pas de notre monde auquel appartiennent nos seules ressources domestiques.

Si nous continuons à suivre ces ornières, nous sommes condamnés à penser notre monde malgré la diversité du vivant. Soit nous la modifions et nous la dominons fortement, soit nous la cloitrons dans des réserves intégrales, au lieu de chercher avec elle des relations d'équilibre.

Pour employer une métaphore cosmologique, nous devons donc enfin prendre conscience que la Terre n'est plus plate, et comprendre que nous sommes partie du

²⁸⁶ Pelluchon, C. (2021). *Les Lumières à l'âge du vivant*. Seuil.

²⁸⁷ White L. (1967). The Historical Roots of Our Ecologic Crisis. *Science*, 155, 1203-1207.

²⁸⁸ Ducarme F. & Couvet D. (2020). What does 'nature' mean? *Palgrave Communications*, 6, 14.

vivant. L'universalisme appelé de leurs vœux par les philosophes pour défendre les droits humains²⁸⁹ doit trouver son inspiration dans la diversité du vivant au delà des humains²⁹⁰. La question n'est pas d'être humaniste pour ne pas nous nuire entre humains, du fait de notre mauvaise perception de la biodiversité et en méprisant sa valeur de service ou d'option. Il nous faut aujourd'hui refonder un universalisme qui ne soit pas seulement humaniste au sens strict mais qui s'adresse à la totalité du vivant et fondamentalement de respecter la biodiversité pour sa valeur intrinsèque. Nous ne sommes pas une partie du vivant, mais partie prenante de la diversité du vivant, dont nous descendons et dont nous dépendons.

Pour un nouveau partage des avantages

Au printemps 2019, la plateforme internationale IPBES (Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques) se réunissait à Paris. Le rapport d'évaluation de cette plateforme mobilisant des milliers de scientifiques pendant trois ans a fait la synthèse de 15000 travaux publiés. Le bilan sur la dégradation effarante de notre environnement est sans appel et les échos médiatiques sont importants, notamment en regard des funestes prévisions d'extinction d'un million d'espèces vivantes.

Presque deux décennies auparavant, la convention sur la biodiversité biologique était ouverte à la signature en Juin 1992, comptant au final 190 pays signataires. Cette convention reconnaissait déjà le terrible déclin de la biodiversité, toutefois sans l'analyser dans les détails. Elle mobilisait les états signataires en reconnaissant leur souveraineté et en mentionnant expressément les contributions qui doivent être mobilisées pour aider les pays pauvres à protéger leur énorme biodiversité. Elle recommandait notamment un partage juste et équitable des avantages découlant de l'utilisation des ressources dites génétiques, c'est à dire des connaissances qui peuvent

²⁸⁹ Wolff, F. (2019). *Plaidoyer pour l'universel: Fonder l'éthique*. Fayard.

²⁹⁰ De Waal, F. (1995). *Le bon singe : Les bases naturelles de la morale*. Bayard Editions.

être tirées de la biodiversité. Ce partage est finalement spécifié le 29 Octobre 2010, dans le cadre d'un protocole adossé à la convention sur la diversité biologique, dit protocole de Nagoya en référence à son lieu de signature au Japon.

Et pourtant, la majorité des connaissances acquises sur la biodiversité ne sont pas brevetées ou ne donnent pas naissance à des bénéfices commerciaux ; pour mémoire, tous les brevets du monde ne font référence qu'à environ 25000 espèces vivantes, soit à peine 4% des espèces connues²⁹¹ ! A force d'expliquer que la biodiversité a de la valeur, les états ont pris au mot cette assertion des biologistes ! Durant ces dernières décennies, un des grands arguments de politique scientifique pour une meilleure connaissance de la biodiversité faisait en effet mention des espoirs de découvertes commercialisables, dans la grande tradition de l'exploration géographique ajustée à des stratégies de pouvoirs depuis la Renaissance. Cet argument reposait sur les savoirs déjà obtenus : médicaments basés sur des principes actifs issus du vivant, variétés cultivées enrichies des variétés sauvages, etc. Les textes internationaux ont donc malheureusement mis en vis à vis déclin de biodiversité et création de ressources budgétaires, comme si le seul obstacle à la destruction était la monétarisation, par ailleurs de mise en œuvre juridique difficile²⁹².

C'est le grand désavantage de la biodiversité comparée au climat, tous deux impliqués dans une crise environnementale mondiale : autant le climat est partagé, chacun doit y contribuer mais nul ne peut s'approprier un « air pur » qui circule librement au delà des frontières nationales ; autant la biodiversité est locale et il n'y a qu'un pas pour la considérer comme une ressource génétique, brevetable ou monnayable. Et pourtant la biodiversité locale a des implications générales en matière de services écosystémiques. Les aires de répartition des organismes ne s'arrêtent pas aux frontières des états et les contributions de la nature au bon fonctionnement des écosystèmes sont globales à la plupart des égards.

²⁹¹ Oldham P., Hall S. & Forero O. (2013). Biological Diversity in the Patent System. *Plos ONE*, 8, e78737.

²⁹² Noille C. et al. (2006). La convention sur la diversité biologique a quinze ans. *Annuaire Français de Droit International*, 351-390.

Autant il est primordial de respecter - dans le pur esprit du protocole de Nagoya - les prérogatives et les connaissances des peuples autochtones, encore trop souvent bafoués, autant il est indispensable que la souveraineté nationale ne soit plus un prétexte pour continuer à exploiter ou à détruire sans vergogne. Certes, des dispositifs comme le crime d'écocide ou les réglementations sur les destructions importées, devraient dissuader des gouvernants irresponsables, mais il semble surtout indispensable que nos esprits se saisissent que la biodiversité est notre bien commun, au delà et en deçà de nos frontières. L'Amazonie brûle mais nous importons soja et cuir amazonien, la Chine consomme des mammifères impliqués dans la covid-19 mais nous tuons nos renards, remparts contre la borelliose. Et la covid19 s'est invitée dans le monde entier, méprisant nos frontières et nos mesquines souverainetés.

De même qu'il faut refonder l'universalisme, il nous faut refonder le partage des avantages lié à la biodiversité. Ce nouveau partage doit être la chance que l'humanité toute entière se décide enfin à saisir à l'aube de la sixième extinction.

TABLE

Préambule

Introduction

Les mots pour la dire : Nature, vivant, biodiversité

La Terre, une planète encore inconnue

Que percevons nous vraiment de la biodiversité ?

Le monde invisible des microbes

Les relations entre organismes : discrètes, impalpables et essentielles

Les charismatiques et tous les autres

Et pourtant elle évolue !

La lutte pour la survie n'est pas forcément compétition

L'évolution n'est pas progrès mais ajustement

L'évolution procède par tri des individus, pas des espèces

La biodiversité de synthèse n'échappe à l'évolution !

La crise de la biodiversité : vrai désastre ou prophétie de malheur ?

Extinction ? Vous avez dit extinction ?

Une crise, au moins cinq causes

Bons et loyaux services rendus : pour combien de temps encore ?

Comment sauver la planète sans souffrir ?

Prendre conscience de la puissance de la biodiversité

Bienvenue dans le monde réel

Soyons heureux

Solutions fondées sur la nature ou bioinspiration

Epilogue

La terre n'est plus plate depuis longtemps

Pour un nouveau partage des avantages