SCIENCE
OUVERTE

Seuil

ALAIN PAVÉ

Comprendre la biodiversité

Vrais problèmes et idées fausses

COMPRENDRE LA BIODIVERSITÉ

Du même auteur

Probabilité statistiques et biologie
(en collaboration avec J. L. Chassé)
CEDIC, 1975

Index et concordance pour
« Alice's Adventures in Wonderland »
de Lewis Carroll
(en collaboration avec Philippe Thoiron)
Champion-Slatkine, 1989

Artificial Intelligence in Numerical and Symbolic Simulation
(en collaboration avec G. C. Vansteenkiste)
Aléas, 1991

Modélisation en biologie et en écologie
Aléas, 1994

La Nécessité du hasard
EDP Sciences, 2007

Amazonie, une aventure scientifique et humaine du CNRS
(en collaboration avec G. Fornet)
Galaade, 2010

On the Origins and Dynamics of Biodiversiy
The Role of Chance
Springer, 2010

La Course de la gazelle
EDP Sciences, 2011

Modélisation des systèmes vivants
Hermès/Lavoisier, 2012

Modeling Living Systems
ISTE/Wiley, 2012

Les Cailloux du Petit Poucet
EDP Sciences, 2015

ALAIN PAVÉ

COMPRENDRE LA BIODIVERSITÉ

VRAIS PROBLÈMES ET IDÉES FAUSSES

OUVRAGE PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DU LIVRE

ÉDITIONS DU SEUIL
*57, rue Gaston-Tessier, Paris XIXe*

ISBN 978-2-02-134153-9

© Éditions du Seuil, février 2019

Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

www.seuil.com

La biodiversité, de LUCA à… Ratatouille

Le premier ennemi de la connaissance n'est pas l'ignorance, c'est l'illusion de la connaissance.

Stephen Hawking

La vie est apparue sur la Terre il y a environ quatre milliards d'années. Nous n'avons pas de trace du premier organisme, si tant est qu'il ait été unique. On peut seulement supposer qu'il était unicellulaire et que son génome était proche de celui reconstitué à partir des séquences actuellement connues pour aboutir à une sorte de plus petit génome commun. Ce premier être vivant hypothétique a été dénommé LUCA pour *Last Universal Common Ancestor*.

Les premiers organismes se sont diversifiés et ont évolué. Ceux, extrêmement variés, qui existent aujourd'hui résultent de cette histoire. Pour désigner cette multitude, on parle de diversité biologique, de biodiversité. Pour la décrire et la mesurer commodément, on convient de ranger les organismes qui se ressemblent dans des catégories, par exemple des espèces, catégories plus permanentes que ces organismes individuels qui apparaissent et disparaissent continûment. À un moment et dans un lieu donnés, la biodiversité peut être plus ou moins bien évaluée, par exemple, en nombre d'espèces identifiables. Ce nombre peut changer au cours du temps et en fonction du lieu. Tout cela donne souvent l'impression d'un grand bazar et d'un non

moins grand remue-ménage permanent. Comment s'y reconnaître ? C'est l'une des grandes difficultés pour les scientifiques qui s'intéressent au monde vivant.

Et *Ratatouille* ? Au-delà du contexte scientifique, notre imagination nous promène. Ainsi des êtres vivants sont inventés, souvent humanisés et mis en scène. En nous tenant à notre époque, c'est, par exemple, le cas de dessins animés, comme ceux dont Félix le Chat était le héros dans l'entre-deux-guerres, ou Mickey et ses divers compagnons, jusqu'à des films plus récents comme *Ratatouille*. Cette biodiversité imaginaire vaudrait considération, d'autant qu'elle diminue régulièrement depuis 1937. Et là, ce n'est guère naturel !

Et que dire des humains, ces animaux curieux, les seuls sachant décrire, compter, évaluer la biodiversité d'hier, d'aujourd'hui et qui essayent de prévoir celle de demain ? Êtres vivants eux-mêmes, ils sont des éléments anecdotiques de cette biodiversité, mais jouent un rôle considérable. Ils transforment le monde qui les entoure sans pour autant le connaître suffisamment, ne faisant pas toujours bien la part entre le réel et l'imaginaire. Quelle est alors la fonction particulière de la tout aussi bizarre sous-espèce *Homo sapiens scientificus* dans cet orchestre sans chef ?

De fait, la biodiversité et ceux qui nous en parlent nous ballottent entre des visions scientifiques, à l'image de celles ayant permis la reconstruction du génome de LUCA, et des récits plus ou moins fantasmés, comme ceux des dessins animés. Dans l'entre-deux, ce qui est souvent le cas, il est bien difficile de se repérer. Pour y aider, nous allons tenter de distinguer les discours de la science la plus rigoureuse, ceux de la biologie et de l'écologie scientifique, de ceux des autres écologies, notamment politique ou religieuse, ou provenant des institutions, des ONG et autres associations, des médias, des amateurs plus ou moins bien éclairés, des ministres, des poètes et des artistes.

Tour d'horizon

Je ne déteste pas les naturalistes ! Et pourtant, il m'est arrivé d'avoir envie de paraphraser Claude Lévi-Strauss[1], tant leur tendance contemplative, quasi religieuse, peut prendre le pas sur le rationnel. Beaucoup d'écologues aujourd'hui héritent de cette tradition avec ses qualités et ses défauts. En vérité, n'ayant pas eu cette formation initiale et n'étant pas écologiste de formation, j'ai beaucoup appris grâce à eux[2]. Ils m'ont montré comment regarder la nature, l'observer, la décrypter et l'apprécier. Dans leur grande majorité, ils ont adopté ce mot magique de « biodiversité », mot inventé en 1985 et popularisé à partir de 1988. Trente ans après, presque tout le monde le connaît. J'ai été témoin à plusieurs titres de cette énorme *success story* pour un terme « savant », une vague sur laquelle l'écologie surfe maintenant autant qu'elle le peut. Cet ouvrage résulte de l'expérience accumulée et quelque peu critique à son propos : solide thématique mais parfois galvaudée, ayant perdu une part de ses fondements scientifiques. Que s'est-il passé ?

Tout d'abord, a-t-on attendu 1985 pour se rendre compte de l'énorme variabilité des êtres vivants ? Non, bien sûr ! En effet, pour les scientifiques, la question de la diversité biologique est ancienne, elle a été même centrale pour les sciences de la vie et avant pour ce que l'on appelait l'histoire naturelle. En revanche, l'observation d'effets indésirables des actions de l'homme sur les autres êtres vivants de la planète a contribué à la populariser. Il s'agit, par exemple, de la disparition de populations entières d'animaux ou de végétaux ou encore de la raréfaction

de certaines autres. On a également constaté l'épuisement de ressources vivantes, la dégradation de milieux et la prolifération de nuisibles. C'est essentiellement pourquoi une inquiétude s'est exprimée et concrétisée dans ce néologisme de « biodiversité ».

Le succès est tel que, de nos jours et pour le plus grand nombre, ce terme remplace fréquemment celui de « nature », entité souvent idéalisée et le plus souvent perçue comme positive. Et pourtant, dans notre esprit, elle n'en reste pas moins évanescente, comme le disait Condorcet : « La nature est un de ces mots dont on se sert d'autant plus souvent que ceux qui les entendent ou qui les prononcent y attachent plus rarement une idée précise » [2]. De fait, la biodiversité hérite de cette vision plutôt floue de la nature.

Cependant, derrière le succès sans précédent d'un mot inventé par des biologistes, les discours à son propos s'éloignent parfois des faits ou de la réflexion scientifique, allant jusqu'à l'expression d'un véritable catastrophisme : nous irions dans le mur, la planète serait en danger, nous serions au seuil d'une sixième grande extinction, dont les humains seraient responsables et aussi, à terme, les victimes. Face à ces affirmations, souvent péremptoires, pessimistes, il faut savoir raison garder et s'interroger sur ce qui les motive. Il y a certes des faits, mais pas uniquement, on peut aussi déceler ou au moins supposer des intentions. Dans ce cas, il est souvent utile de se référer aux philosophes, par exemple à Spinoza, qui écrivait : « Les passions tristes sont l'apanage des prédicateurs et des despotes[3]. » Ce n'est sans doute pas du despotisme, encore que le monde politique puisse y trouver un avantage ; en revanche, certaines déclarations semblent bien relever de prédications, parfois apocalyptiques.

Qu'en est-il sur le plan scientifique ? De fait, l'écologie s'est appropriée la question de la biodiversité. En effet, cette discipline s'intéresse d'abord aux relations des êtres vivants entre eux et avec les milieux dans lesquels ils vivent. Or, la biodiversité n'a de sens que si ces êtres existent et ils ne vivent que grâce à ces relations, à ces interactions. De plus, les humains, êtres vivants à la fois banals et singuliers, jouent un rôle particulier. C'est ce

qui a fait précisément émerger cette question de la biodiversité et dramatiser les discours à son propos. C'est aussi ce qui la rend complexe car elle oblige à considérer des dimensions non spécifiquement biologiques, par exemple politiques, économiques, culturelles, et même religieuses.

L'écologie est ainsi quelque peu tiraillée entre, d'une part, les autres sciences de la nature, tout particulièrement les autres disciplines biologiques et, d'autre part, les sciences humaines et sociales. De plus, elle a cette particularité d'être plurielle : écologie scientifique, écologie politique, écologie religieuse, voire d'autres encore, comme une écologie des ONG, une écologie des associations et une écologie médiatique. Par conséquent, ne pourrait-on pas parler d'écologies, au pluriel, et qualifier chacune d'elles ? Mais alors, n'y a-t-il pas de risques de dispersion, et même de dérives du métier d'écologue qui devrait en principe rester ancré dans les sciences de la vie ? Et les discours très divers de ces écologies ne paraissent-ils pas embrouillés ? En tout cas, parler d'un sujet complexe dans la confusion ne contribue pas à l'éclairer.

La biodiversité révèle aussi des facettes qu'on pourrait qualifier d'utilitaires. En effet, le vivant est source de productions nécessaires à notre vie, par exemple pour l'alimentation ou la médication, de fonctionnalités précieuses, par exemple de détoxification ou de recyclage, d'idées nouvelles, notamment pour des développements, technologiques (biomimétisme et technologies bio-inspirées), de dimensions esthétiques (paysages naturels ou aménagés, jardins créés et entretenus avec grand soin, compositions diverses comme les murs végétaux). Beaucoup voient là des trésors à exploiter. En revanche, certains êtres vivants sont également sources de désagréments et même de pathologies (infections, allergies, agressions, intoxications) et, complication extrême, il en existe qui peuvent être tantôt neutres vis-à-vis des humains, tantôt redoutablement pathogènes (comme le vibrion cholérique). D'autres, enfin, sont perçus positivement mais peuvent s'avérer dangereux, c'est le cas des ours.

Outre ce que l'on observe, ce que l'on utilise et ce que l'on idéalise, il est indispensable de savoir de quoi l'on parle, de bien

expliciter les termes qu'on manipule, en premier celui de biodiversité lui-même, de consacrer du temps à une réflexion conceptuelle à son propos et si possible d'élaborer une théorie qui ne soit pas un simple collage d'arguments d'origines diverses. En effet, une théorie solide est un moyen efficace et assez sûr pour engendrer des prolongements utiles, pour mieux penser le réel, pour répondre à des finalités, pour proposer des produits nouveaux ou pour concevoir des applications, dont des technologies innovantes. Plus généralement, ce type de réflexion permet de mieux comprendre cette biodiversité et quoi en faire. Par exemple, la théorie de l'évolution est parfois considérée comme un objet de spéculation intellectuelle, peu en relation avec des aspects pratiques. Or l'intégration récente de la dimension évolutive dans divers domaines concrets est très prometteuse. C'est le cas pour la santé[4], l'agronomie, les biotechnologies, l'aménagement et la gestion des écosystèmes. Il a fallu un peu plus d'un siècle et demi pour en arriver là, et l'on accumule les succès. En même temps, on fait progresser cette théorie par une confrontation permanente avec le réel. Plus généralement, il est nécessaire d'intégrer le fait évolutif dans les sciences de la vie : « *Nothing in biology makes sense except in the light of evolution*[5] » et, dans la continuité, d'affirmer que seule une lecture évolutive peut donner un sens à la biodiversité. Or, malgré des efforts importants, l'écologie peine encore à faire cette lecture en oubliant que le créateur de la discipline, Ernst Haeckel, était avant tout un évolutionniste et même que Darwin, lui-même, n'ignore pas ce qu'on a appelé plus tard l'écologie. C'est pourquoi un chapitre est consacré à ce sujet, à cette théorie.

Bien évidemment, on peut théoriser sans mathématiser. À ce sujet, certains auteurs citent les travaux de Charles Darwin. Ils ont presque raison, mais seulement presque. En effet, dans ses travaux, notamment son ouvrage fondateur, il n'y a pas de formulation mathématique, comme il en existait, par exemple, dans les publications des physiciens. En revanche, dans ses carnets de notes, on a trouvé un graphe arborescent, dessiné sur le terrain, où il représente des relations phylogénétiques possibles entre

espèces. Plus encore, dans son ouvrage, un schéma de principe explicitant l'origine commune d'espèces différentes est soigneusement dessiné. Ces schémas et quelques autres ont vraisemblablement servi de support à ses réflexions. Ce ne sont pas des modèles mathématiques, mais des schémas relationnels, c'est-à-dire de véritables modèles graphiques. Plus tard, des biométriciens ont modélisé de nombreux aspects de cette théorie, notamment lorsque les dimensions génétiques (génétique mendélienne et génétique des populations) ont été prises en compte. Ces extensions ont constitué le « néodarwinisme » ou la « théorie synthétique de l'évolution[6] ».

Tout cela n'est-il pas excitant, d'autant plus que ce n'est pas fini ?

Maintenant, regardons du côté des humains, ce qu'ils font et ce qu'ils disent. En effet, de façon plutôt simpliste, ils sont d'abord considérés comme destructeurs de biodiversité. Bien entendu, il existe des situations où c'est vrai et même caricatural, par exemple lors de la transformation de vastes forêts en terres agricoles, ou de façon plus radicale pour l'exploitation minière ou pour faire des espaces « bétonnés ». Cependant, la situation est plus subtile. En effet, l'agriculture a produit des variétés nouvelles, ainsi un article de Bernard Le Buanec, l'un des meilleurs spécialistes de la question, présente bien la question [5]. La pratique de l'agriculture a aussi conduit à une diversification des paysages, à la création de nouveaux écosystèmes, c'est-à-dire à une biodiversité d'un autre niveau, celui d'ensembles de parcelles plus ou moins hétérogènes, de haies et de bosquets [6]. D'un autre côté, la création de villages et de cités a rassemblé de plus en plus d'humains dans des espaces artificialisés. Une biodiversité urbaine a été installée, notamment dans des parcs et des jardins ; une partie a même émergé spontanément [7]. Ce processus d'anthropisation a aussi permis de préserver des territoires ruraux et naturels propices à l'expression et au maintien d'une grande biodiversité. Les humains ne sont pas mauvais par essence. Ils ne détruisent pas par plaisir. Ainsi savons-nous maintenant que c'est d'abord la pauvreté qui les

mène à altérer gravement leur environnement. Inversement, on ne peut pas ignorer non plus que des cas, bien trop nombreux encore, relèvent de la cupidité entraînant des destructions dommageables. Au total, on constate quand même que ces humains sont parfaitement capables de faire évoluer leurs relations avec les autres êtres vivants de la planète, tout en sachant que de bonnes intentions peuvent avoir des conséquences négatives [8]. Rien n'est gagné pour autant, comme le suggère un modèle nommé HANDY (*Human and Nature Dynamics*) [9]. En effet, une exploitation inconsidérée des ressources naturelles, une répartition très inégalitaire des richesses et une diminution des emplois paraissent être des facteurs déterminants d'effondrement des civilisations. La nôtre n'est pas à l'abri, on peut même penser qu'elle y va gaillardement, mais rien n'est sûr, même pas le pire !

Pour mieux comprendre ces dimensions humaines, on est évidemment amené à mobiliser certaines disciplines du secteur scientifique spécialisé dit des « sciences de l'homme et de la société », mais, pour un écologue, en évitant de s'y dissoudre.

Revenons aux sciences de la nature. Quand on écoute les biologistes et les écologues, quand on lit leurs écrits, on remarque qu'ils emploient souvent un mot magique, celui de « hasard ». Qu'en font-ils ? Pour les plus avertis, ils utilisent le calcul des probabilités qui en traite bien, pour analyser les résultats souvent variables de leurs expériences. Mais ils hésitent à aller plus loin, à disséquer ce hasard : d'où vient-il ? Peut-on agir sur lui et sur ses effets ? Il y a peu de temps, interrogé sur cette question par un dirigeant de la recherche d'une grande entreprise, je signalais que dans l'introduction du livre d'Henri Poincaré consacré au calcul des probabilités, paru en 1912, on trouvait des réponses et que manifestement ces réflexions ont été en grande partie ignorées jusqu'à un passé relativement récent. J'ajoutais aussi que celles, plus anciennes, d'Antoine-Augustin Cournot sur la « contingence », évoquant le hasard comme la rencontre de chaînes causales indépendantes, étaient très importantes pour tout ce qui concernait les phénomènes historiques, notamment l'évolution biologique. Un participant à cette discussion, au

demeurant un excellent scientifique, me répondit que Cournot c'est « de la philosophie de terminale », ce que j'ai traduit par « pas d'intérêt scientifique », et que pour le texte de Poincaré, il n'est pas étonnant qu'il ait été ignoré, « parce qu'on ne lit jamais les introductions des ouvrages ». Dommage… Très généralement et malgré son omniprésence dans les discours des scientifiques, ceux-ci ont des difficultés avec le hasard et vont jusqu'à l'ignorer. Alice Roberts l'a très bien noté dans le célèbre quotidien britannique *The Guardian* à propos d'un article publié dans la revue *Science* sur le rôle prépondérant du hasard dans l'émergence des pathologies cancéreuses [10]. On ne peut donc pas passer sur ce sujet primordial quand on parle du vivant et de son évolution. C'est pourquoi j'ai tenté de faire le tour de la question et choisi de le présenter dans le dernier chapitre, en forme de conclusion ou, mieux encore, comme une sorte de « cerise sur le gâteau » : le hasard nous dit beaucoup sur la biodiversité et la biodiversité nous oblige à sortir d'un discours évanescent à son propos. Ce détour peut paraître curieux mais il s'est imposé. Certains pourront me qualifier de monomaniaque car j'en ai déjà parlé dans un livre récent : *La Nécessité du hasard, vers une théorie synthétique de la biodiversité* avec une multiplicité de faits biologiques et écologiques illustrant ses effets. Ici, le contexte s'y prêtant encore, cette réflexion est prolongée et renforcée.

Pour mieux expliquer la démarche suivie dans ce livre, singulièrement dans le dernier chapitre, mais pas exclusivement, j'évoque l'une de mes marottes, à savoir la modélisation. J'ai déjà expliqué par ailleurs en quoi les modèles ont été des sortes de cailloux pour me repérer dans les sentiers sinueux des sciences de la vie [11]. Plus généralement, cette méthodologie est devenue précieuse dans beaucoup d'autres domaines, tant pour la construction théorique que pour répondre à des finalités pratiques. Elle permet aussi de spéculer en construisant des réalités virtuelles. Il faut cependant la manier avec précaution. Ainsi, la modélisation ne doit jamais être déconnectée du réel, même dans les approches les plus abstraites, les plus spéculatives. Les modèles présentés dans cet ouvrage sont simples. Ainsi trouve-t-on la « loi aire-espèces »,

importante en écologie, et un modèle graphique, permettant d'illustrer l'utilisation, parfois maladroite, de cette loi. Le modèle logistique est aussi évoqué. Il est simple et s'applique à une grande diversité de situations biologiques et écologiques. Sous sa forme continue, on l'utilise pour représenter l'évolution de la biodiversité à l'échelle géologique (chapitre 3). D'autres modèles sont cités sans les détailler, par exemple ceux utilisés à des fins de prédiction, souvent pour en signaler les limites. Une partie du chapitre 5 y est consacrée. Comme le lecteur, s'il a une lecture linéaire de l'ouvrage, aura déjà vu des modèles et certaines de leurs utilisations, on en profite pour donner plus de précisions méthodologiques, avant de se lancer dans les prédictions, le graal de tout modélisateur. Mais, à l'image de cette coupe mythique, le pouvoir prédictif est difficile à trouver et à prouver : les états passés et présents sont déjà délicats à établir ; pour ceux du futur, certaines prévisions sont possibles, mais il faut rester très modeste.

Le modèle logistique est aussi présenté sous sa forme discrète, pour réfléchir sur l'origine de la variabilité biologique et imaginer des mécanismes pouvant engendrer le hasard nécessaire à la production de cette variabilité (c'est l'objet du chapitre 8). Grâce à ce modèle simple, que tout un chacun ayant le niveau du bac peut comprendre et manipuler, une digression un peu théorique est proposée pour illustrer un résultat mathématique assez récent, très utile et très rassurant. En effet, parmi les grands développements mathématiques ayant eu des applications spectaculaires au XXe siècle, deux sont à mettre en exergue : la théorie des systèmes dynamiques et la théorie des probabilités. Soupçonnés par Poincaré, des liens formels entre ces deux monuments ont été établis, mais presque un siècle après, donc récemment. Ces liens formels justifient une pratique plus ou moins courante : dans des situations « mécaniquement » complexes, comme l'élémentaire jeu de « pile ou face », des équations apparemment simples peuvent être établies. En fait, elles ne l'ont été qu'en 2008. Si le jeu est simple, les équations sont quelque peu compliquées et hors de portée de la plupart des personnes, même celles

ayant une bonne culture en mathématiques et en physique. En revanche, il y a bien longtemps que l'approche probabiliste du « pile ou face » a été faite, en gros à la fin du XVIIe. On l'utilise même souvent pour débuter un cours de calcul des probabilités. Mais alors n'y a-t-il pas quelque contradiction lorsque d'un côté on a une équation « exacte » et de l'autre on se contente de probabilités donnant des résultats plus vagues ? D'un côté, une approche précise et mécaniste, de l'autre un « à peu près ». Deux démarches apparemment distinctes, voire incompatibles. Or ce n'est pas le cas. En effet, des mathématiciens ont établi les liens entre les deux théories et nous pouvons justifier l'emploi de l'une ou de l'autre, ou de l'une et de l'autre. Prenons à titre d'exemple le travail du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). D'un côté les équipes multiplient les simulations à partir de modèles dynamiques complexes, utilisant de gros moyens de calcul, et de l'autre une synthèse est proposée sous des formes statistiques et probabilistes, par exemple la température moyenne sur le globe en 2100 à laquelle on associe un intervalle dans lequel on aura une forte probabilité d'observer une température réelle, ce qu'on appelle un « intervalle de confiance ». Malgré son apparence, cette pratique n'est pas un bricolage douteux, elle est maintenant rigoureusement justifiée. Ouf, diront certains. Pour l'une ou l'autre, comme le pile ou face et d'autres jeux mécaniques dits de hasard, l'argument est celui de la simplicité *versus* la complexité. Ainsi l'approche probabiliste est plus simple que l'approche mécaniste, certes approximative mais souvent suffisante. Encore que le calcul exact est tellement sensible à l'impulsion initiale qu'il n'est pratiquement pas possible d'observer un résultat qui aurait été prédit. Donc le calcul des probabilités est au moins à double titre préférable à celui du calcul exact. Cependant ce dernier nous rassure, car il nous permet aussi de comprendre pourquoi le résultat « exact » est quand même difficile à prédire.

Je gage qu'à partir de tout cela, Pierre Desproges aurait pu nous proposer une belle « Minute nécessaire de monsieur Cyclopède » !

Mais revenons à notre biodiversité. Nous savons que les

variations sont biologiquement indispensables, par exemple pour permettre aux êtres vivants d'évoluer. En revanche, ces variations sont gênantes d'un point de vue pratique. En effet, elles limitent nos possibilités de prédiction, notamment d'états futurs de la biodiversité. C'est bien plus difficile que pour le pile ou face et même que pour le climat. Nous en discutons dans le chapitre 5 à propos de cette fameuse sixième extinction qui nous est régulièrement promise, mais aussi sur des exemples plus prosaïques d'évolution d'écosystèmes. En tout cas, il n'y a pas le choix, il faut faire avec cette variabilité biologique.

Somme toute, le but de ce texte est aussi d'exposer de réels sujets d'intérêt et de préoccupation concernant le vivant, notamment l'origine de sa diversité, ses devenirs possibles, les bénéfices qu'on peut en tirer, son rôle dans le fonctionnement de la biosphère, le potentiel évolutif qu'elle représente. Cela étant, le terme de biodiversité reste flou. Il y a encore des confusions entre énoncés scientifiques et positions idéologiques et morales qu'il s'agit de clarifier. La dimension évolutive doit être systématiquement introduite en signalant le rôle prépondérant de hasards d'origines diverses qui limitent drastiquement les possibilités de prédictions et donc du futur de la biodiversité elle-même. Au bout du compte, peut-être faut-il aller jusqu'à une refondation du concept à la mesure de son importance et de l'intérêt qu'on doit y porter, trouver l'« âme de la biodiversité », comme suggéré dans un article de *Nature* paru juste avant la phase d'édition du présent ouvrage [12]. Ne serait-il pas aussi utile de repenser l'écologie scientifique elle-même, dans son propre intérêt, et de renforcer son image positive pour susciter des passions joyeuses plutôt que des passions tristes ?

Par ailleurs, la conception de cet ouvrage a des effets de bord non négligeables. Ainsi avons-nous évoqué la modélisation, une méthodologie plutôt réservée à des spécialistes. En effet, si le terme est largement connu, en revanche la méthodologie l'est moins, même dans la communauté scientifique. Il est donc bon d'en discuter. Dans la foulée, on montre en quoi les mathématiques, même très abstraites, peuvent être immensément

utiles, pour mieux comprendre et donc pour mieux faire, par exemple en matière de biodiversité. Retour d'ascenseur, la biodiversité et la discipline de prédilection qui s'en occupe peuvent fournir de jolis problèmes aux mathématiciens. Cependant, la modélisation n'est pas la seule méthodologie employée. Ainsi la statistique offre des outils remarquables, si tant est qu'ils soient bien conçus, bien choisis, bien compris, bien utilisés et les résultats bien interprétés. L'usage et parfois l'abus de ces « calculs » peuvent conduire à des résultats tout simplement faux. C'est ce que dénonce John Ioannidis dans le domaine biomédical [13]. Les pratiques sont voisines dans d'autres secteurs des sciences du vivant, comme l'écologie, pour laquelle quelques exemples typiques concernant la biodiversité, son estimation et sa dynamique sont analysés.

En définitive, en utilisant les connaissances les plus solides, il s'agit de comprendre au mieux la biodiversité et non pas de la brandir comme un slogan. Aussi les arguments et résultats avancés sont-ils étayés par une bibliographie précise, des références largement étalées dans le temps, mais faisant également appel aux avancées les plus récentes. Elles sont reportées en fin d'ouvrage où le lecteur trouvera toutes les informations classiques pour accéder à l'original. Elles sont également repérées dans le texte, là où elles peuvent renforcer l'argumentation, en quelque sorte des éléments de preuve. Des notes complètent le texte principal. Afin de ne pas alourdir la présentation, elles ont été reportées en fin d'ouvrage, on y trouvera des commentaires, des compléments et les traductions des passages en langues étrangères, notamment ceux en anglais.

RÉALISATION : PAO ÉDITIONS DU SEUIL
IMPRESSION : NORMANDIE ROTO IMPRESSION S.A.S. À LONRAI
DÉPÔT LÉGAL : FÉVRIER 2019. N° 134150 (XXX)
Imprimé en France