HAL
open science

L'ÉROSION DE LA BIODIVERSITÉ : QUE PEUT DIRE (ET NE PAS DIRE) LA SCIENCE ?

Bernard Chevassus-Au-Louis, Michèle Sebag, Denis Couvet, S. Crasquin, Etienne Verrier, Denis Laloë, Jérôme Enjalbert

To cite this version:

Bernard Chevassus-Au-Louis, Michèle Sebag, Denis Couvet, S. Crasquin, Etienne Verrier, et al.. L'ÉROSION DE LA BIODIVERSITÉ : QUE PEUT DIRE (ET NE PAS DIRE) LA SCIENCE ?. 2022. hal-03975703

HAL Id: hal-03975703

https://hal.science/hal-03975703v1

Submitted on 6 Feb 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.

ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES
POUR UN PROGRÈS RAISONNÉ CHOISI PARTAGÉ

L'ÉROSION DE LA BIODIVERSITÉ : QUE PEUT DIRE (ET NE PAS DIRE) LA SCIENCE ?

Bernard Chevassus-au-Louis et Michèle Sebag

Membres de l'Académie des technologies

Séance du 12 janvier 2022

Résumé

La biomasse mondiale des mammifères est actuellement composée, pour un quart, par les êtres humains et, pour près des trois quarts, par les mammifères domestiques ; les mammifères sauvages ne représentent plus que 5 à 10 % du total. Quant à la biomasse végétale, elle a diminué de 50 % au cours des deux derniers millénaires. Le rythme actuel d'extinction des espèces est entre 100 et 1 000 fois plus élevé que le taux moyen depuis l'apparition de la vie sur terre, et de 10 à 100 fois plus rapide que lors de n'importe quelle extinction de masse dans le passé. En ce qui concerne la biodiversité domestique animale, le foisonnement des races résultant de la sélection par les hommes au fil du temps est actuellement remis en cause par une réduction de la variabilité à la fois entre populations d'animaux domestiques et à l'intérieur des populations. Il en va de même pour les espèces végétales cultivées : après une longue période de diversification, l'apparition de sélectionneurs professionnels a conduit à une concentration sur quelques variétés « élites » par l'industrie. Au total, l'érosion de la biodiversité ne fait aucun doute…

Intervenants

Denis Couvet
Professeur au Muséum national d'histoire naturelle, président de la fondation de recherche pour la biodiversité

Sylvie Craquin
Directrice de recherches au CNRS, directrice du Centre de recherche en paléontologie - Paris

Étienne Verrier
Professeur de génétique animale à AgroParisTech, UMR Génétique animale et biologie intégrative, président de la Société d'ethnozootechnie

Denis Laloë
Ingénieur de recherches INRAE, UMR Génétique animale et biologie intégrative

Jérôme Enjalbert
Directeur de recherches INRAE, UMR Génétique quantitative et évolution Le Moulon

Sommaire

Formes et processus d'érosion de la biodiversité 2
Comparaison des rythmes passés et actuels de disparition des espèces 4
La biodiversité domestique animale 5
La biodiversité des espèces végétales cultivées 7
Débats 9

Introduction par Michèle Sebag

Le séminaire d'aujourd'hui trouve son origine dans une séance sur l'intelligence artificielle organisée le 12 mars 2021, au cours de laquelle une vive polémique avait éclaté à propos d'un exposé de Marie Ekeland consacré à « L'intelligence artificielle pour un futur fertile ». Plusieurs participants, familiers du thème de l'érosion de la biodiversité, ont été choqués par une présentation qu'ils ont jugée approximative, voire infondée. Nous avons demandé à des experts de nous exposer l'état des connaissances scientifiques sur ces questions, en combinant des approches sur le temps long et sur la situation actuelle, sur les espèces sauvages et sur les espèces domestiquées ou cultivées.

A

Formes et processus d'érosion de la biodiversité

Denis Couvet

Denis Couvet est professeur au Muséum, président de la FRB (fondation de recherche pour la biodiversité), associé à Sciences Po Paris et à l'Université de Lausanne, a été chercheur au CNRS et professeur associé à l'école polytechnique. Ingénieur agronome, Docteur et HDR en écologie-sciences de l'évolution. Ses travaux ont porté sur l'évolution des systèmes de reproduction, la dynamique des espèces menacées, les réponses des communautés d'oiseaux communs aux changements globaux. Plus récemment sur les sciences participatives en biodiversité et la construction d'indicateurs, les relations biodiversité-sociétés, notamment à travers l'économie et l'agriculture, le concept de nature.

L'IPBES (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques) est l'équivalent, pour la biodiversité, du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Elle a publié, en 2019, un rapport spécial, expertise mondiale qui fait un bilan sur les processus d'érosion de la biodiversité.

L'IPBES s'intéresse notamment à l'état des services écosystémiques, ou encore 'contributions apportées par la nature aux humains'. L'IPBES en distingue 17, réparties en trois grandes catégories : les contributions matérielles (énergie, alimentation et fourrage, matériaux, ressources médicales, biochimiques et génétiques…), immatérielles (apprentissage et inspiration, expériences physiques et psychologiques…), et enfin la régulation des écosystèmes (pollinisation et dispersion des graines, régulation de la qualité de l'air, recyclage de l'eau, régulation locale et globale du climat, fertilité des sols…). S'y ajoute une dix-huitième contribution, le maintien des options, étroitement liée à la biodiversité.

Le rapport de l'IPBES indique la situation de dégradation ou d'amélioration de chacune de ces contributions par région, et sur le plan mondial, en précisant, chaque fois, l'indice de confiance de l'évaluation. Quelques contributions matérielles sont en progression : l'agriculture, par exemple, est de plus en plus productive. En revanche, les stocks de poissons régressent, et la totalité des contributions immatérielles et régulatrices, ainsi que le maintien des options, sont en situation de dégradation. Or, les contributions régulatrices et le maintien des options sont, par définition, au cœur du fonctionnement des écosystèmes. S'ils continuent à se dégrader, les quelques contributions matérielles connaissant une évolution positive ne pourront pas progresser très longtemps.

La régression de la diversité des espèces sauvages

Ce déclin des fonctions régulatrices accompagne un déclin général de la biodiversité : diversité et abondance des communautés écologiques. Afin d'illustrer ce déclin, on peut évoquer quelques tendances concernant les espèces sauvages : mammifères, oiseaux, insectes et végétation.

Au cours des 100 000 dernières années, la biomasse des mammifères a été multipliée par quatre et redistribuée de façon spectaculaire. Elle est désormais composée, pour un quart, par les êtres humains et, pour près des trois quarts, par les mammifères domestiques (vaches, porcs, chèvres et moutons essentiellement). Les mammifères sauvages ne représentent plus que 5 à 10 % du total. La diminution drastique de la diversité génétique et spécifique des mammifères entraîne mécaniquement une augmentation de la sensibilité aux épidémies. Par ailleurs, certaines fonctions écologiques ne sont plus assurées, d'autant que les disparitions de mammifères ne se font pas de façon aléatoire, mais sont corrélées au poids des animaux. La masse moyenne des mammifères qui se sont éteints avant l'essor de l'agriculture, du fait de l'activité des chasseurs-cueilleurs, était de 182 kg. Celle des mammifères qui ont disparu depuis l'essor de l'agriculture est de 700 grammes. Celle des mammifères actuellement menacés est de 440 grammes. Enfin les mammifères non menacés à l'heure actuelle ont un poids moyen de 60 grammes.

Au cours des trente dernières années, le nombre d'oiseaux communs en Europe est passé de 2,2 milliards

à 1,6 milliard. Non seulement, là encore, certaines fonctions écologiques ne sont plus assurées, mais cette régression s'accompagne d'une homogénéisation biotique : les espèces spécialistes sont remplacées par des espèces adaptées à l'ensemble des habitats, ce qui se traduit par une réduction de la diversité des écosystèmes.

Les insectes représentent la moitié des espèces animales. Selon la méta-analyse la plus complète à ce jour, dans les écosystèmes alpins et boréaux, le réchauffement climatique entraîne une augmentation de l'abondance des insectes à la fois terrestres et aquatiques, ce qui ne signifie pas que la diversité spécifique et génétique s'accroisse également, certaines espèces pouvant tirer parti mieux que d'autres de cette opportunité. Dans les milieux arides et tempérés, les insectes terrestres connaissent un déclin de 1 % par an, alors que les insectes aquatiques bénéficient d'une dynamique plus positive, peut-être liée aux mesures d'amélioration de la qualité de l'eau prises depuis quelques décennies dans les pays riches. Enfin, dans les milieux tropicaux, le bilan est négatif aussi bien pour les espèces terrestres qu'aquatiques, probablement en raison de l'extension des pratiques agricoles et du recours aux intrants.

Enfin, au cours des deux derniers millénaires, la planète a perdu 50 % de sa biomasse végétale, avec une forte accélération à partir de la révolution industrielle. D'après l'IPBES, la situation se serait stabilisée depuis quelques décennies, avec un contraste marqué entre les pays du nord, en pleine reforestation, et les pays du sud, qui continuent à déforester massivement.

Au total, en relation avec les tendances précédentes, on constate une nette augmentation du taux d'extinction des espèces depuis quatre siècles. Les listes publiées par l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature) montrent que le pourcentage d'espèces menacées (estimé avec plus ou moins de certitude selon les espèces) est variable selon les groupes : il est, par exemple, de 60 % pour les cycads (des plantes primitives de formes semblables aux palmiers et aux fougères), de 40 % pour les amphibiens, de 20 % pour les mammifères.

Ces extinctions conduisent à une réduction des options possibles.

Quelles réponses ?

Que faire face au déclin des fonctions régulatrices des écosystèmes, lié à la perte de biodiversité commune, et à la réduction des options, liée à la perte de diversité génétique et spécifique ?

La Convention sur la diversité biologique, adoptée lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro, en 1992, privilégie les approches basées sur les écosystèmes (aussi bien naturels qu'agricoles ou urbains), appelées également « solutions fondées sur la nature », qui visent à la fois à assurer le bien-être humain et à produire des bénéfices pour la biodiversité.

Illustrant l'importance et la puissance de ces solutions, une étude a montré, par exemple, qu'une meilleure gestion des écosystèmes, à travers, par exemple, la restauration des forêts et des zones humides, permettrait de stocker 10 gigatonnes de CO2 par an, soit un quart des émissions actuelles, et ainsi d'atténuer le changement climatique.

Ces approches supposent une restauration, maintien des fonctions écologiques, ET de la diversité biologique. Illustrant l'importance de ce dernier thème, l'expérimentation de Cedar Creek, menée depuis 1994 par des écologues sur des micro-parcelles de 4 mètres carrés, où ils ont fait varier le nombre d'espèces végétales d'une à sept, a rapidement montré –c'était l'hypothèse initiale- que celles comprenant davantage d'espèces étaient plus productives et plus résilientes que les autres. Après 33 ans d'expérimentation, ils ont également constaté que la qualité des sols, leur fertilité –un résultat plus inattendu mais somme toute logique-, s'était fortement améliorée.

Les « solutions fondées sur la nature » concernent tous les territoires et écosystèmes, même si elles requièrent davantage d'ingénierie dans les milieux urbains (avec, par exemple, la mise en œuvre de toits végétalisés) que dans les écosystèmes naturels qu'il s'agit plutôt de restaurer.

Les conséquences pour la sphère techno-économique

Face à la crise de la biodiversité, la sphère techno-économique sera de plus en plus concernée par les questions d'environnement. Face à cette nouvelle situation, l'IPBES, dans son rapport spécial de 2019, répertorie quatre grands types de changements nécessaires : une réorganisation de l'économie, s'appuyant par exemple sur une comptabilité environnementale et sur la suppression des subventions dommageables à la biodiversité, la réduction des impacts des activités humaines avec, en particulier, une régulation accrue des polluants, la mise en œuvre d'une organisation urbaine durable, et la préservation directe de la biodiversité à travers des espaces protégés.

Les technologies vont devoir, elles aussi dans leurs développements, prendre en compte la nécessité de préserver la diversité biologique, génétique et spécifique. Selon l'usage qui sera fait de l'intelligence artificielle, par exemple, celle-ci peut conduire à une homogénéisation des systèmes agricoles et des paysages ou, au contraire, à leur diversification.

A

Comparaison des rythmes passés et actuels de disparition des espèces

Sylvie Crasquin

Sylvie Crasquin est micropaléontologue, spécialiste des ostracodes (Crustacea) du Paléozoïque – Trias et des crises de la biodiversité au cours des temps profonds. Après un doctorat à l'Université de Lille, elle poursuit ses recherches à Sorbonne Université. En 2014 elle prend la direction du Centre de recherche en paléontologie – Paris, laboratoire de plus de 100 personnes, entièrement dédié à la paléontologie, sous tutelles du MNHN, de Sorbonne Université et du CNRS.

Une espèce biologique recouvre des groupes de populations naturelles réellement ou potentiellement interféconds, et isolés, quant à la reproduction, de tout autre groupe semblable. Chaque espèce s'inscrit dans différents niveaux de classification. Le léopard d'Afrique, par exemple, correspond à l'espèce *Panthera pardus*, du genre Panthera, de la famille des félidés, de l'ordre des carnivores, de la classe des mammifères, de l'embranchement des cordés, du règne animal et du domaine des eucaryotes.

À l'heure actuelle, un peu plus de 1,23 million d'espèces vivantes ont été décrites et, selon l'hypothèse la plus récente, il en existerait 8,7 millions.

Le taux d'apparition d'espèces est difficile à estimer. On continue à découvrir de nouvelles espèces (comme l'okapi, en 1901) mais elles préexistaient à leur découverte.

Parmi les disparitions d'espèces, certaines ont été naturelles, comme celle du mammouth ou de l'australopithèque, quand d'autres sont liées à l'activité humaine, comme celles du dodo à la fin du XVIIème siècle, du grand pingouin en 1844, du tigre de Tasmanie en 1936 ou de la tortue géante de l'île de Pinta en 2012.

La paléobiodiversité

L'accrétion de la Terre date de 4,6 milliards d'années et les premières traces d'activité biologique remontent à 3,8 milliards d'années. Les eucaryotes sont apparus il y a 1,9 milliard d'années, et les premiers exosquelettes, qui ont permis aux organismes de se dresser et de se développer, il y a 600 millions d'années.

L'identification des changements de faune et de flore au cours des temps géologiques se fait à partir du contenu en fossiles des différentes couches. L'évolution de la biosphère n'est pas régulière. En ce qui concerne les espèces marines, par exemple, les phases de diversification observées entre 600 et 443 millions d'années (du sommet du Précambrien à l'Ordovicien), ou entre 200 et 66 millions d'années (Jurassique-Crétacé), alternent avec des phases de stabilité, entre 443 et 360 millions d'années (Siluro-Dévonien) et entre 360 et 250 millions d'années (Carbonifère-Permien). Entre les périodes de diversification et de stabilité se sont produites cinq crises de biodiversité, ou extinctions de masse.

Les crises de biodiversité

Les extinctions de masse se définissent par trois critères. Le premier est le fait que l'extinction ne touche pas seulement des espèces ou des genres, mais des familles. Le deuxième critère est d'ordre temporel : la crise doit être rapide, c'est-à-dire, à l'échelle des temps géologiques, durer moins de 2 millions d'années. Le troisième est spatial : la crise doit être ressentie à l'échelle du globe ou, du moins, sur de très grandes distances. La disparition de toutes les espèces d'une mer intérieure, par exemple, n'est pas considérée comme une extinction de masse.

La crise la plus ancienne intervient il y a 445 millions d'années et entraîne la disparition de 26 % des familles. Il y a 372 millions d'années, ce sont 21 % des familles qui s'éteignent. Puis a lieu la plus forte extinction de masse, il y a 252 millions d'années, avec la disparition de 50 à 57 % des familles, de 70 à 83 % des genres et de 85 à 96 % des espèces. Enfin, il y a 201 millions d'années, puis il y a 66 millions d'années, deux nouvelles crises entraînent la disparition, respectivement, de 22 à 23 % des familles d'espèces, puis de 15 à 16 % d'entre elles. Tous ces chiffres concernent le milieu marin.

Ces crises de la biodiversité marine n'ont pas toujours d'équivalent en milieu terrestre. Les deux premières interviennent à un moment où la vie ne s'est pas encore développée en dehors des mers, ou marginalement. La troisième est la seule à être très marquée en milieu terrestre comme en milieu marin, avec un décalage temporel. Il faut toutefois préciser que les données sont beaucoup plus nombreuses en milieu marin qu'en milieu continental, où la fossilisation est plus aléatoire, en

raison d'un rythme de sédimentation beaucoup plus lent.

Les causes des extinctions de masse

La chronostratigraphie permet de déterminer les dates de début et de fin de ces crises successives. La première a duré entre 1 et 2 millions d'années ; la deuxième, 1 million d'années ; la troisième, entre 1 et 8 millions d'années, si l'on prend en compte des événements antérieurs pouvant être considérés comme des prémisses de la crise ; la quatrième est la plus brève, avec une durée de seulement 100 000 ans, et la cinquième s'est déroulée sur environ 500 000 ans.

Les causes de ces extinctions massives sont toujours liées à des changements climatiques entraînant des variations du niveau des mers : une glaciation suivie d'un réchauffement pour la première crise ; un réchauffement maximal suivi d'un refroidissement rapide pour la deuxième ; un réchauffement pour la troisième ; des variations climatiques pour la quatrième ; un refroidissement pour la cinquième. D'autres causes peuvent intervenir, comme une activité volcanique particulièrement soutenue ou des chutes de météorites, mais ces dernières ne sont jamais la cause principale d'une crise de biodiversité.

La sixième crise de la biodiversité

Les extinctions de masse jouent un rôle non négligeable dans l'évolution des espèces. Lorsqu'un groupe disparaît, un autre groupe présent sur la même niche écologique en profite pour se développer. C'est ce qui s'est produit pour certaines espèces de coraux lors de la troisième crise, ou pour les mammifères et les oiseaux lors de la cinquième.

La particularité de la sixième crise de biodiversité, celle que nous sommes en train de vivre, est que, pour la première fois de toute l'histoire de la vie sur Terre, une seule espèce, *Homo Sapiens*, domine désormais en biomasse l'ensemble de la biodiversité (si l'on prend en compte les espèces qu'elle élève ou cultive pour son alimentation) et provoque l'extinction en masse de nombreuses autres espèces, que ce soit par la surexploitation et l'agriculture intensive, la destruction et la fragmentation des habitats, l'introduction d'espèces allochtones et invasives, la pollution et l'eutrophisation, la destruction directe des espèces, ou enfin le changement climatique.

Une deuxième particularité est que le taux actuel d'extinctions d'espèces est estimé entre 100 et 1 000 fois plus élevé que le taux moyen d'extinction depuis l'apparition de la vie sur Terre, et de 10 à 100 fois plus rapide que lors de n'importe quelle extinction de masse précédente. Alors que la durée de vie moyenne d'une espèce a été de l'ordre de 4,8 millions d'années au cours des temps géologiques, l'ampleur et la rapidité du taux d'extinction actuel ramènent cette espérance de vie moyenne à seulement 10 000 ans. Il est urgent de ralentir ce processus, si nous-mêmes souhaitons rester vivants !

A

La biodiversité domestique animale

Étienne Verrier et Denis Laloë

Étienne Verrier (Ingénieur, PhD, HDR) est Professeur de génétique animale à AgroParisTech et rattaché à l'UMR Génétique animale et biologie intégrative (Inrae/AgroParisTech). Il a présidé le conseil scientifique du Bureau des ressources génétiques de 2003 à 2008. Depuis 2018, il préside le Conseil scientifique de la filière équine. Depuis 2019, il est Président de la Société d'ethnozootechnie.

Denis Laloë (Ingénieur, HDR) est Ingénieur de recherches à INRAE, également à l'UMR génétique animale et biologie intégrative (Inrae/AgroParisTech). Généticien quantitatif et biostatisticien, il a conduit l'évaluation génétique en ferme des bovins allaitants jusqu'en 2010. Il a coordonné un projet de caractérisation de la diversité génétique des bovins méditerranéens en lien avec l'environnement et le climat.

La notion de race animale n'a été conceptualisée qu'au milieu du XVIIIème siècle, en Angleterre, avant de se répandre en Europe. Elle correspond à un projet humain et non à une subdivision naturelle de l'espèce.

Un foisonnement de diversité dans les races animales domestiques

La domestication du chien date de 15 000 à 20 000 ans ; celle des bovins, des porcs et des petits ruminants, de 10 000 ans ; celle de la poule, de 5 000 ans. Dès le début de la domestication, les éleveurs ont opéré des sélections fondées essentiellement sur l'observation des animaux afin de choisir les reproducteurs correspondant le mieux à leurs attentes.

La domestication d'une espèce s'est parfois opérée en un seul endroit de la planète, parfois en plusieurs. Les

éleveurs se déplaçant souvent d'une région à l'autre avec leurs populations animales, on observe des alternances entre l'isolement de certaines populations et leur mélange. Par ailleurs, les races ont été sélectionnées en vue de différents usages, variables dans le temps ; par exemple, pour les chevaux, l'armée, les travaux agricoles, le transport, la course, etc. Tous ces facteurs ont abouti à un foisonnement de la diversité des populations.

En partant de l'espèce ancestrale du coq de jungle, qui vit dans les forêts du sud-est asiatique, l'homme a constitué des centaines de races de poules, avec des variations de couleurs, de formats, de tailles et d'allures de plumes, sans équivalent dans le monde des oiseaux sauvages. De même, à partir de l'espèce sauvage ancestrale du loup, près de quatre cents races canines ont été développées au fil de plusieurs millénaires de domestication ; aujourd'hui, la différence entre la race canine la plus petite et la plus grande se situe dans un rapport de 1 à 7 pour la taille et de 1 à 30 pour le poids.

Les méthodes de la génétique

La génétique est une discipline scientifique récente, initiée par les travaux de Gregor Mendel, *Expériences sur les hybrides végétaux,* publiée en 1866 et redécouverts au tout début du XXe siècle.

Il existe une variabilité génétique à la fois entre différentes populations et entre individus d'une même population. En identifiant les allèles (variantes d'un gène, résultant d'une mutation) et à des marqueurs moléculaires et en estimant leurs fréquences sur des échantillons d'animaux, on peut calculer ce que l'on appelle la *distance génétique* entre deux populations.

On peut aussi mesurer, à l'échelle d'un pays ou d'un ensemble de pays, les effectifs et la répartition des populations au sein d'une même espèce, l'indicateur étant le nombre de femelles reproductrices.

Nombre efficace de races et taille efficace des populations

L'un des indicateurs de diversité au sein d'une espèce est le *nombre efficace de races,* c'est-à-dire l'inverse de la probabilité, si l'on tire deux individus au hasard, qu'ils appartiennent à la même race. Sur une espèce comprenant trois populations aux effectifs comparables, le nombre efficace de races est de trois. Sur une espèce comprenant trois populations dont l'une représente un effectif deux fois plus important que les deux autres réunies, le nombre efficace de races est de deux, ce qui signifie que la diversité au sein de cette espèce est moindre que dans la première configuration.

En ce qui concerne la variabilité au sein d'une population, l'indicateur le plus universellement utilisé est la *taille efficace de la population*. Celle-ci dépend du nombre de reproducteurs (en tenant compte des effectifs mâles et femelles) et de la distribution des tailles de descendance des différents reproducteurs. Plus les effectifs de reproducteurs sont faibles et plus les tailles de leurs descendances sont hétérogènes, plus la taille efficace est réduite et, en conséquence, plus rapidement s'accroît la consanguinité et s'érode la variabilité intra-population.

Les outils de la génomique permettent de baliser de façon très dense le génome des espèces d'élevage. On peut, par exemple, déterminer le génotype de plusieurs milliers d'animaux pour cinquante-mille marqueurs moléculaires. Il est alors possible d'analyser les associations entre différents marqueurs et ainsi, de remonter le temps et de reconstituer la taille efficace des populations. On peut ainsi montrer que toutes les races de chevaux de course élevées en France ont été influencées par des géniteurs de race pur-sang anglais.

L'érosion de la biodiversité domestique animale

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) établit des inventaires mondiaux de la répartition des races. Sur 38 espèces animales domestiques recensées, elle a identifié 8 800 races, dont 7 059 races locales, ce qui, pour la FAO, signifie qu'on ne les trouve que dans un seul pays. Parmi ces dernières, 39 % ont un statut connu (risque de disparition ou non) et 73 % des races dont le statut est connu sont concernées par un risque de disparition. La proportion des races à risque est beaucoup plus importante en Amérique du Nord, en Europe ou en Australie, qu'en Chine ou en Inde.

En France, on recense 7,5 millions de bovins, répartis en 47 races reconnues par le ministère de l'Agriculture. Les 6 races les plus répandues représentent 91 % du cheptel, et le nombre efficace de races est de 8, ce qui signifie que malgré la présence de 47 races, tout se passe comme si le cheptel était équitablement réparti entre 8 d'entre elles seulement. De même, les 900 000 chèvres présentes en France se répartissent entre 14 races reconnues, dont 2 concentrent l'essentiel du cheptel, avec des effectifs à peu près équivalents.

L'Institut de l'élevage a mis en place, depuis 2015, un dispositif permettant d'estimer la taille efficace et la consanguinité à partir de la généalogie des ruminants, celle-ci étant bien renseignée dans les élevages. En 2017, 17 races de ruminants étaient représentées par moins de mille femelles et sont, à ce titre, considérées comme menacées d'abandon. Cela dit, les races bovines laitières de type Holstein, Normande ou Montbéliarde, pourtant représentées par des effectifs de 500 000 ou même plus d'1 million de vaches, présentent, en raison

de leur consanguinité, une taille efficace de population d'environ 100, la même que pour ces races menacées de disparition.

Trois modes de conservation

En 1974, une société savante d'ethnozootechnie a organisé la première journée d'études, en France, consacrée au « *races domestiques en péril* ». À partir de la fin des années 1970, des programmes de préservation de la biodiversité domestique ont été coordonnés à l'échelle nationale et européenne.

Il existe trois modes principaux de conservation. On peut conserver de la semence et des embryons dans de l'azote liquide, au sein de cryobanques, mais on peut également conserver des reproducteurs *in situ*, c'est-à-dire dans des exploitations agricoles, ou *ex situ*, dans des fermes-conservatoires. Le mode très largement majoritaire est la conservation *in situ*. Il est favorisé par différentes formes de valorisation, comme l'exploitation de milieux inhospitaliers par le recours à des races spécifiques, la labellisation de produits à forte valeur ajoutée, ou encore l'utilisation de certaines races pour l'éco-pâturage.

En conclusion, la domestication et la sélection ont induit un accroissement sensible de la variabilité entre populations d'animaux domestiques, et une réduction de la variabilité à l'intérieur des populations. La tendance actuelle est à la réduction des deux formes de variabilité. Il existe cependant de nombreux moyens de lutter contre ces phénomènes, y compris en utilisant de façon judicieuse la sélection génomique qui s'est déployée dans la plupart des filières depuis la fin des années 2000. Préserver à la fois la diversité inter- et intra-populations permettrait de maintenir les options et de faciliter l'adaptation au changement climatique, ou aux nouveaux objectifs de sélection qui pourraient se dessiner à l'avenir.

A

La biodiversité des espèces végétales cultivées

Jérôme Enjalbert

Jérôme Enjalbert, Directeur de recherches INRAE, est généticien des populations. Il développe des recherches sur la mobilisation de la diversité cultivée pour l'agroécologie, et plus particulièrement sur les services liés à la diversité intra-spécifique (assemblage de variétés et d'espèces). Il anime l'équipe DEAP dans l'UMR Génétique quantitative et évolution des populations, de l'UMR GQE Le Moulon et coanime le projet MoBiDiV[1] sur les leviers de diversification dans le système semencier français.

La notion de race L'évolution des plantes cultivées a connu trois grandes phases : la domestication des plantes, entre 10 000 et 3500 ans avant notre ère suivant les espèces, au moment de la sédentarisation des populations humaines et de la naissance de l'agriculture, puis leur diversification entre 3500 avant notre ère et le début du XXe siècle, et enfin une dernière phase, récente, qui est celle de la sélection de variétés élites par les premiers sélectionneurs puis l'industrie.

La phase de domestication

Dès la première phase, les hommes ont transformé les plantes, en sélectionnant, de façon inconsciente initialement, des caractéristiques bénéfiques pour eux. L'une des premières a été la non caducité des grains, c'est-à-dire le fait qu'ils ne se dispersent pas mais restent, au contraire, fixés sur la plante et aisément récoltables. Les suivantes ont été le fait que le grain soit non vêtu, afin de faciliter les préparations alimentaires ; l'augmentation de la taille des fruits ; l'augmentation du rapport entre fruits et végétation ; la synchronisation de la fructification afin de simplifier l'organisation des récoltes. Ces différences entre formes cultivée et sauvage constituent le syndrome de domestication.

[1] https://www6.inrae.fr/mobidiv

Cette domestication s'est opérée sur plusieurs centres et s'est étalée dans le temps.

La diversification

Les plantes domestiquées ont ensuite fait l'objet d'une diffusion souvent très large. Ainsi, le maïs, domestiqué au Mexique, est désormais présent dans le monde entier. Pour la tomate, la phase de domestication a eu lieu dans la zone de l'Équateur et du Pérou, la diversification primaire s'est opérée au Mexique, puis, au cours du XVIe siècle, la tomate a été implantée en Espagne et en Italie, où elle a connu une diversification secondaire, avant d'être exportée, au XVIIIe siècle, vers les États-Unis, où elle a fait l'objet d'une diversification tertiaire.

Une première perte de diversité

La domestication a conduit à perdre une partie de la diversité génétique présente dans les populations sauvages originelles, de façon plus marquée pour les plantes annuelles que pour les plantes pérennes, et lorsqu'elles sont autogames (c'est-à-dire capables de s'autoféconder) que lorsqu'elles sont allogames.

La perte de diversité n'est pas homogène pour l'ensemble du génome. Chez le maïs, par exemple, on observe une perte de diversité globale de 40 % liée à l'échantillonnage pratiqué lors de la domestication de la plante sauvage. Mais pour 2 à 4 % des fragments génomiques étudiés, la réduction de diversité a été beaucoup plus importante, en raison de la sélection pratiquée pour obtenir certaines caractéristiques.

L'apparition de sélectionneurs professionnels

Jusqu'au début du XXe siècle, toutes ces évolutions ont été conduites par les paysans. Ceux-ci maintenaient des variétés populations (composées d'individus génétiquement hétérogènes), en recherchant une adaptation à l'environnement, au climat, aux pressions parasitaires, aux pratiques culturales locales. La sélection se faisait en fonction de caractères morphologiques, à travers le tri des grains qui serviraient de semences l'année suivante et de ceux destinés à la consommation. Par ailleurs, les paysans échangeaient régulièrement leurs semences. Cette activité a conduit à une fantastique diversité des espèces cultivées, aussi bien entre espèces qu'entre variétés ou cultivars à l'intérieur d'une même espèce.

Au moment de la révolution industrielle, certains agriculteurs se spécialisent et deviennent sélectionneurs. De premières expériences de sélection massale consciente aboutissent à la betterave de Vilmorin et à la variété de seigle de Schlanstedt, en 1866. Ces méthodes se perfectionnent avec la redécouverte des lois de Mendel, et les variétés locales sont peu à peu remplacées par de nouvelles variétés lignées ou hybrides très performantes, appelées variétés élites. Cette évolution permet d'énormes gains de productivité au cours du XXe siècle, mais conduit aussi à une forte érosion de la diversité cultivée par suite d'une uniformisation génétique intra-variétale et parfois entre variétés.

Des banques de graines

Dans les années 1970, d'importantes mobilisations conduisent à la création de plus d'un millier de banques de graines à travers le monde, contenant plus de 6 millions d'accessions, c'est-à-dire de lots identifiés de semences. Leur conservation coûte relativement cher, car il faut périodiquement régénérer les semences. L'accès à ces ressources est ouvert, alors que les bénéfices tirés de ces ressources sont protégés par des traités internationaux. S'y ajoutent des collections conservées par des sélectionneurs privés ou par des associations souhaitant préserver des espèces locales.

L'érosion de la diversité dans les variétés cultivées

Selon une étude récente, sur 105 articles comparant l'évolution de diversité dans les variétés cultivées, les deux tiers témoignent d'une baisse de diversité. En revanche, la moitié de ces publications témoignent d'une augmentation de la biodiversité cultivée au cours des toutes dernières décennies, sans doute en raison de croisements avec des plantes sauvages ayant donné accès à une nouvelle variabilité génétique.

Une autre étude a montré que seulement 7 % des variétés de blés citées dans un catalogue publié en 1903 aux États-Unis sont encore présentes dans les banques de graines aujourd'hui. Cela dit, en compilant l'ensemble des catalogues actuels, on trouve à peu près le même nombre de variétés qu'à l'époque. Toute la question est de savoir si ces deux ensembles sont comparables en termes de diversité génétique, fonctionnelle, et d'adaptation. Une étude menée sur le blé en France a montré que la variabilité de nombreuses caractéristiques variétales est conservée, tandis qu'elle diminue pour d'autres, et que dans quelques cas elle peut augmenter.

Selon une étude menée sur le blé tendre, le nombre de variétés cultivées dans le nord de la France est passé de 40, dans les années 1980, à près de 65 en 2005, alors que, dans le sud-est, il ne dépassait pas la dizaine. En revanche, l'analyse de la diversité génétique à l'aide de marqueurs moléculaires, pondérée en fonction des

surfaces cultivées, a révélé que la baisse de diversité était, paradoxalement, plus forte dans le nord, en raison d'une plus grande similarité des variétés, malgré leur nombre, que dans le sud-est. Il est ainsi critique de prendre en compte à la fois l'apparentement entre les variétés, et la prédominance de certaines de ces variétés sur le paysage.

Le rôle des pratiques agricoles

Les pratiques agricoles jouent également un rôle très important sur l'évolution de la diversité cultivée. L'intensification de l'agriculture a conduit à une domination croissante de certaines espèces, avec des spécialisations nationales et régionales se traduisant par une simplification des rotations ainsi qu'une homogénéisation des parcelles, souvent mono-spécifiques et mono-génotypiques. L'uniformisation des paysages agricoles a notamment pour conséquence un impact accru des maladies et des ravageurs. A contrario, une étude menée à partir des statistiques de la FAO montre que le premier facteur de stabilisation de la production est la diversité des espèces cultivées, avant même l'irrigation ou l'apport d'azote.

Comment conserver la biodiversité des variétés cultivées ?

Les pertes de diversité dans les variétés cultivées sont avérées, même si elles sont variables et non systématiques. La conservation *ex situ* permet de sauvegarder la biodiversité, mais il faudrait augmenter la sûreté des banques de graines par leur duplication, améliorer la caractérisation des accessions et renforcer leur utilisation. Il est également nécessaire de préserver *in situ* les espèces sauvages apparentées pour aller y puiser des ressources génétiques, notamment en matière de résistance aux maladies. Or, certaines de ces ressources sont menacées par le changement climatique. Il faudrait donc les prospecter et les transplanter afin de les sauvegarder. Enfin, il faudrait intensifier le déploiement *in situ* des espèces conservées, notamment par les activités de sélection participative portées par des agriculteurs et associations. Enfin mobiliser la diversité intra-parcelle, en procédant à des mélanges intraspécifiques (variétés) ou interspécifiques permet de stabiliser les productions, et de concevoir des assemblages adaptés aux systèmes de production innovants. Protéger la diversité des espèces cultivées améliore leur pouvoir adaptatif et contribue à la résilience agricole. En France, les mélanges variétaux de blé occupent d'ores et déjà 17 % des surfaces cultivées.

A Débats

Les biais d'échantillonnage

Sachant que le phénomène de fossilisation est aléatoire, comment éviter le biais d'échantillonnage dans l'estimation du nombre d'espèces disparues ?

Sylvie Crasquin : Les paléontologues sont conscients qu'ils n'accèdent qu'à une petite partie de la biodiversité des temps anciens. On estime qu'il existe un facteur de 200 à 500 entre ce qui est fossilisé et ce qui a réellement existé. En particulier, les organismes à corps mous ne se fossilisent que dans des conditions exceptionnelles, c'est pourquoi nous retrouvons essentiellement des espèces dotées d'un squelette interne ou externe. En revanche, en comparant ce que nous retrouvons dans deux couches successives, nous pouvons établir des taux fiables d'apparitions et de disparitions d'espèces.

L'importance de mesurer la biomasse

On dit que si l'on plongeait l'ensemble de l'humanité dans le lac de Genève, le niveau de l'eau ne s'élèverait que d'un mètre. Pourquoi évoquer l'indicateur de la biomasse, qui semble moins pertinent que celui de la biodiversité ?

Denis Couvet : Il est extrêmement difficile de mesurer la biodiversité, pour laquelle les systèmes d'observation restent très partiels. Les données concernant la biomasse sont beaucoup plus solides, faciles à exploiter et parlantes.

Les zones humides

Vous avez évoqué l'intérêt de restaurer les zones humides pour restaurer la biodiversité et capter du CO_2. Les zones humides sont cependant fortement émettrices de méthane, un gaz contribuant massivement à l'effet de serre. Parmi les zones humides, ne faudrait-il pas privilégier celles qui sont

épisodiques, sachant que l'interruption de l'immersion réduit les émissions de méthane ?

Denis Couvet : La composition d'espèces des zones humides diffère en fonction de leurs caractéristiques. Certaines espèces bénéficient des variations du niveau d'eau, quand d'autres ont besoin d'un habitat constamment humide. Il serait intéressant de réaliser des bilans sur les différentes options en matière à la fois de contribution à la biodiversité et d'impact sur le changement climatique, qui a lui-même un effet négatif sur la biodiversité.

Biodiversité et climat, deux enjeux antinomiques ?

Dans la mesure où le CO_2 produit aujourd'hui va rester dans l'atmosphère pendant des centaines d'années, alors que la biodiversité semble pouvoir être restaurée relativement rapidement (pour les espèces n'ayant pas encore disparu), ne faudrait-il pas donner la priorité au changement climatique dans les cas où les deux objectifs ne pourraient pas être poursuivis en même temps ? L'effet à long terme de la perte de biodiversité n'est-il pas moins grave que l'incidence à court et moyen terme de l'effet de serre ?

Denis Couvet : L'un des risques les plus importants du changement climatique concerne l'agriculture, dont dépend notre alimentation. Les crises provoquées par la brusque hausse du prix des aliments sont de plus en plus nombreuses, rapides et intenses. Or, la meilleure réponse à ces chocs alimentaires consiste à mieux gérer les écosystèmes et la biodiversité afin d'aider l'agriculture à s'adapter au changement climatique. De ce point de vue, il me paraît difficile de distinguer les deux enjeux.

Dans ce cas, ne pourrait-on se concentrer sur la préservation de la biodiversité agricole ?

Denis Couvet : La réponse de l'agriculture au changement climatique va bien au-delà de la biodiversité agricole. Elle mobilise la biodiversité sauvage présente dans les écosystèmes agricoles : la microbiodiversité des sols, les adventices indispensables aux pollinisateurs, les oiseaux et les chauves-souris qui se nourrissent des ravageurs des cultures, les forêts qui assurent la régulation globale du climat, etc.

La question des interactions entre les enjeux du climat et ceux de la biodiversité est cruciale, et elle n'est pas triviale. Un atelier organisé conjointement par le GIEC et l'IPBES a donné lieu à un document très intéressant, mais le GIEC ne l'a pas validé, estimant que certaines assertions étaient scientifiquement discutables. Le cadre conceptuel du GIEC est essentiellement physico-chimique, alors que celui de l'IPBES, centré sur les différentes conceptions et usages de la biodiversité, donne beaucoup plus de place à l'humain, d'où des débats souvent compliqués.

Le maintien des options

Le lien le plus significatif entre climat et biodiversité n'est-il pas le maintien des options ?

Denis Couvet : En effet. On estime que 80 % des espèces existant actuellement sont encore inconnues, ce qui ne signifie pas pour autant qu'elles ne jouent pas un rôle important. Par exemple, on sait que la composition en micro-organismes des sols d'agriculture intensive est très différente de celle des sols d'agriculture extensive, mais on ignore comment cela se traduit en termes de fonctionnement du sol, et il est possible que des espèces encore inconnues y tiennent un rôle majeur, d'où le souci de préserver autant que possible la biodiversité. De même, face aux inconnues du changement climatique, le maintien des options paraît crucial.

Sélection et homogénéisation

La sélection de blés à plus fort rendement et à meilleure résistance aux maladies n'aboutit-elle pas mécaniquement à la réduction de la biodiversité ?

Jérôme Enjalbert : La multiplication des critères de sélection crée effectivement un goulet d'étranglement qui explique en partie la baisse de diversité. Cela dit, les individus les plus performants n'ont pas forcément la même composition génétique. Les études récentes mettent en évidence des assemblages et des interactions entre différents gènes et processus pouvant aboutir aux mêmes résultats avec des compositions alléliques variées. On s'est rendu compte, par exemple, qu'il était préférable de faire reposer la résistance aux maladies sur des constructions génétiques différentes, faute de quoi les pathogènes s'adaptent et on ne réussit pas à maintenir la résistance aux maladies dans la durée.

La bataille est-elle perdue ?

La perte de biodiversité domestique est-elle irréversible, ou peut-on espérer revenir à une situation plus favorable ?

Étienne Verrier : Grâce aux lanceurs d'alertes des années 1970 et 1980, on observe une re-diversification des systèmes agricoles et alimentaires, ainsi que la remise au goût du jour de types génétiques qui avaient été délaissés. Il est certain que nous ne reviendrons pas à l'éden antérieur. En revanche, nous allons avoir besoin de retrouver une diversité d'options et l'on peut imaginer que cela conduira à des pratiques de sélection

plus « amicales », qui réinjecteront de la diversité, en particulier grâce à la sélection génomique.

Conclusion par Bernard Chevassus-au-Louis

Ce séminaire avait pour but de permettre à chacun de se faire une opinion à partir de ce que peut ou ne peut pas dire la science. Je ne vais donc certainement pas imposer mes propres conclusions, mais trois points me semblent mériter d'être soulignés.

Le premier est le fait que la notion d'érosion de la biodiversité désigne des phénomènes multi-échelles. Certains s'observent dans l'évolution des paysages et d'autres nécessitent l'analyse des chromosomes. Les uns se déroulent sur plusieurs millions d'années et d'autres, sur quelques décennies. On ne parle pas toujours de la même chose, ce qui rend les débats complexes.

Le concept de maintien des options, que l'on pourrait rapprocher du principe de précaution, me paraît également très important, à la fois parce que nous n'avons qu'une connaissance partielle des espèces vivantes et parce que les conditions dans lesquelles nous pourrions avoir à utiliser leur diversité sont elles-mêmes soumises à de grandes incertitudes.

Enfin, nous sommes face à des enjeux dont les échéances temporelles nous dépassent. La biodiversité est un patrimoine dont nous avons hérité, auquel les générations qui nous ont précédé ont contribué, et que nous devons nous efforcer de transmettre aux générations suivantes. Il y a quatre milliards d'années, les êtres vivants ont inventé le codage de l'information sur l'ADN et nous découvrons aujourd'hui, face au caractère non durable du stockage massif de l'information sur le silicium, qu'il s'agit manifestement d'une excellente trouvaille de la biodiversité.

Merci aux orateurs de nous avoir incités à réfléchir au temps long, alors que nous avons généralement tendance à privilégier le temps court.

Mots clés : biodiversité, biomasse, conservation, espèces, extinction, population, sélection, variétés

Citation : Bernard Chevassus-au-Louis, Michèle Sebag, Denis Couvet, Sylvie Craquin, Étienne Verrier, Denis Laloë & Jérôme Enjalbert. (2022). *L'érosion de la biodiversité : que peut dire (ou ne pas dire) la science ?* Les séances thématiques de l'Académie des technologies. @

Retrouvez les autres parutions des séances thématiques de l'Académie des technologies sur notre site

Académie des technologies. Le Ponant, 19 rue Leblanc, 75015 Paris. 01 53 85 44 44. academie-technologies.fr

Production du comité des travaux. Directeur de la publication : Denis Ranque. Rédacteur en chef de la série : Hélène Louvel. Auteur : Élisabeth Bourguinat. N°ISSN : 2826-6196.

Les propos retranscrits ici ne constituent pas une position de l'Académie des technologies et ils ne relèvent pas, à sa connaissance, de liens d'intérêts. Chaque intervenant a validé la transcription de sa contribution, les autres participants (questions posées) ne sont pas cités nominativement pour favoriser la liberté des échanges.