

Chapitre 1 extrait, avec l'autorisation de l'éditeur, du livre :

Archambault P, Baron C, Bilodeau D, De Koninck T, Després J-P, Dupont É, Dupras J, Michaud C, Parent G et Villeneuve C. 2020. La Terre, la vie et nous : parlons d'espoir et de solutions. Édito, Montréal, 285 p.

Chapitre 1

Le point de vue de la biologie et du développement durable CHERCHER DES SYNERGIES POUR UNE SOLIDARITÉ PLANÉTAIRE

CLAUDE VILLENEUVE

Il s'agit alors de faire du *bricolage* dans le sens le plus noble du terme, un peu comme le « bricolage de la nature » qui a été et est encore la force et l'essence de l'évolution biologique, qui a créé la diversité des gènes, des espèces et des écosystèmes. Le bricolage implique la nécessité d'être spécifique, d'avoir de l'initiative et un objectif précis [...].

Francesco di Castri,
Les conditions gagnantes du développement durable

Les biologistes ont décrit plus de deux millions d'espèces vivantes. On estime toutefois que la biodiversité mondiale pourrait en compter cinq fois plus. Ces estimations ne tiennent pas compte du monde des bactéries et des virus, où le concept d'espèce trouve ses limites, mais où la diversité se réinvente en continu.

Tous les vivants ont en commun des caractéristiques héritées d'ancêtres apparus il y a plus de quatre milliards d'années. Le codage de l'information génétique et certains modes de fonctionnement cellulaire universellement répandus dans le monde vivant témoignent de cette évolution. Grâce à la photosynthèse, les organismes vivants ont transformé l'atmosphère de la planète. La faculté des végétaux de capter l'énergie solaire a permis qu'elle circule dans l'ensemble de la biosphère à travers ce qu'on appelle les réseaux trophiques, c'est-à-dire les relations alimentaires qui lient différents êtres vivants. Le hasard, les mutations et les interactions entre individus et entre espèces (compétition, coopération, parasitisme) ont tissé, au fil de l'évolution, la trame de la diversité biologique.

L'histoire évolutive telle que nous la révèle la paléontologie se caractérise par des périodes de diversification durant lesquelles les espèces colonisent de nouveaux milieux et se spécialisent, suivies de périodes de stabilité apparente et de périodes d'extinction massive. Les archives fossiles permettent d'identifier cinq périodes d'extinction massive qui témoignent de la disparition de 60 à 95 % des espèces qui existaient initialement. Ces extinctions succèdent à un évènement fortuit d'origine terrestre, comme la glaciation globale de l'Ordovicien (- 445 millions d'années), ou extraterrestre, comme l'impact de l'astéroïde qui a causé la disparition des dinosaures il y a 66 millions d'années.

La diversité biologique se reconstruit après chacun de ces épisodes désastreux, à partir des espèces qui survivent à la modification de leur environnement. Lorsque les conditions ont atteint un nouvel équilibre, l'évolution se fait par divergence, on dit qu'elle est buissonnante. De nouvelles espèces apparaissent et se spécialisent, plusieurs espèces apparentées cohabitent pendant des périodes plus ou moins longues. Certaines lignées persistent des millions d'années, d'autres s'éteignent plus rapidement. En général, les plus susceptibles d'extinction sont des espèces très spécialisées, dont les effectifs sont faibles et la répartition restreinte.

Au contraire, une espèce qui est largement répartie dans la biosphère et qui possède une forte tolérance à la variation des conditions de son environnement sera, par définition, moins sujette à l'extinction. C'est le cas de l'espèce humaine aujourd'hui. Comment *Homo sapiens*, l'homme moderne, a-t-il pu, dès le Paléolithique, s'installer de façon durable sur tous les continents et sous tous les climats de la planète, à l'exception de l'Antarctique ? Sa température corporelle ne peut varier que de façon très limitée, il est dépourvu de fourrure, il présente peu d'adaptations spécialisées et il est extrêmement dépendant pendant son développement, qui dure très longtemps. Ces caractéristiques biologiques devraient d'emblée le limiter à des climats chauds. La clé de son succès réside dans la culture. Cette couche de complexité permet aux humains de s'affranchir de la sélection naturelle et des variations des conditions environnementales mieux que la majorité des autres espèces.

Les humains vivent en groupes, ils sont dotés d'un langage articulé, d'un cerveau dont la plasticité permet l'apprentissage à tout âge, et font usage d'outils. Plus encore, grâce à la domestication du feu, ils peuvent se servir de sources

d'énergie indépendantes de leur alimentation pour transformer leur environnement. Dotés de ces caractéristiques, des groupes humains ont essaimé à partir du berceau africain.

Issue de la biodiversité, notre espèce s'est construite dans une étroite relation avec la nature, puis a commencé à s'en affranchir. Aujourd'hui, en se dissociant de la nature, l'humanité est devenue le facteur dominant qui pourrait entraîner une sixième période d'extinction massive, celle de l'Anthropocène.

LES RELATIONS DE L'HUMANITÉ AVEC LA BIODIVERSITÉ À TRAVERS L'HISTOIRE

Dans l'histoire de l'espèce humaine, on relève quatre modes d'interactions avec la biodiversité : les sociétés de chasseurs-cueilleurs, les sociétés agricoles, les sociétés industrielles et les sociétés de l'information. Chacune a, au sein de sa culture, une représentation différente de la nature. Ces représentations expliquent comment les sociétés humaines influencent la biodiversité. Leur cohabitation, dans le passé et encore aujourd'hui, permet de tirer des leçons de leur expérience afin d'envisager les conditions dans lesquelles on pourra éviter la catastrophe annoncée.

Les chasseurs-cueilleurs

Pendant l'essentiel de son existence, qu'on estime à moins de 250 000 ans, l'espèce humaine a vécu à la faveur des ressources alimentaires spontanément disponibles, adaptant son comportement à la localisation et à la saisonnalité des plantes, à l'abondance et au déplacement des proies. Ce mode de vie a subsisté jusqu'au milieu du 20^e siècle pour quelques populations autochtones des forêts amazoniennes, africaines ou indonésiennes, et même de la forêt boréale du nord du Canada.

Au moins 10 000 générations d'humains ont connu ce mode de vie.

Lorsqu'on les compare, les cultures de chasseurs-cueilleurs montrent quelques caractéristiques communes par rapport à la biodiversité. La connaissance des composantes biologiques de l'écosystème est relationnelle, c'est-à-dire qu'on ne voit pas de frontière entre les humains et les autres organismes vivants. La survie du groupe dépend de la compréhension intime qu'on possède de l'environnement et de ses variations coutumières. La culture orale, transmise de génération en génération, est garante du maintien de l'équilibre entre les ressources et la population. Cette relation d'interdépendance entre les humains et leur environnement permet aux groupes d'occuper des territoires à très long terme. Elle implique un important investissement dans l'observation des ressources, de leur localisation, de leur taux de renouvellement et de leurs autres spécificités. On se rend compte aussi que les peuples de chasseurs-cueilleurs freinent leur démographie et maintiennent leurs populations sous le seuil grâce auquel ils ont pu survivre lors des mauvaises années, quand l'écosystème dont ils dépendent a été moins productif. Cela leur permet de limiter les conséquences des famines et d'éviter la surexploitation des espèces qu'ils consomment. Lorsque surviennent des changements inattendus, ou inhabituels, de leur environnement ou de leur mode de vie, leur résilience les pousse à la migration.

C'est pendant la dernière période glaciaire (de - 110 000 à - 10 000 ans), et grâce aux ponts intercontinentaux qu'elle favorisait, que les chasseurs-cueilleurs ont essaimé sur tous les continents, en forêt, dans les steppes et les déserts, en bordure des océans et sur des îles quelquefois distantes de milliers de kilomètres. C'est dans les sociétés de chasseurs-cueilleurs que la diversité culturelle de l'humanité a été la plus liée à la

biodiversité. Malgré cette proximité, les groupes de chasseurs-cueilleurs ont été associés à la disparition de plusieurs espèces, comme les mammoths, mais il est difficile de savoir si leur influence a été déterminante ou simplement fortuite.

Les agriculteurs

À la faveur de l'Holocène, période plus clémente qui a débuté il y a environ 12 000 ans, l'agriculture et la domestication de certains animaux ont permis la sédentarisation dans diverses régions du monde. Il y a donc au plus 500 générations que l'humanité pratique l'agriculture. Le changement culturel qui en a résulté est fondamental. D'abord, l'agriculture implique une forme de sédentarité. Ensuite, elle demande un investissement en travail, en savoir et en moyens de défense. Mais l'agriculture génère des surplus saisonniers. Les conditions sont réunies pour la création d'un nouvel écosystème humain, caractérisé par le complexe ville-campagne et la création de niches de production spécialisées. L'agriculture exige un contrôle de l'homme sur l'écosystème afin de produire certaines espèces au détriment de celles qui auraient spontanément occupé le territoire.

La production de surplus oblige au stockage et à la gestion, ce qui rend nécessaire l'invention de l'écriture et du calcul. Ces innovations culturelles permettent un nouveau mode de transmission de l'information qui transcende la tradition orale. Elles offrent aussi des conditions favorables à l'innovation technique et la formalisation de la pensée scientifique.

Avec l'agriculture, la démographie prend un sens nouveau. Plus de main-d'œuvre signifie plus de récoltes, mais aussi plus de bouches à nourrir. Cette spirale de croissance est viable tant que des territoires nouveaux peuvent être mis en production. Il faut aussi plus de soldats pour protéger les récoltes et

les richesses accumulées dans les villes. La forêt et les plaines inondables aux abords des cours d'eau offrent la terre qu'il faut pour produire des denrées agricoles. Or, ce sont naturellement les zones les plus riches en biodiversité. Les agriculteurs doivent aussi défendre leurs récoltes contre les ravageurs – oiseaux, rongeurs, insectes. L'agriculture se construit contre la biodiversité. Par ailleurs, les pratiques agricoles traditionnelles épuisent rapidement les sols. Cela oblige à déplacer les cultures et à défricher de nouvelles terres, en pratiquant notamment l'agriculture sur brûlis. Ou encore à fertiliser les champs avec des fumiers animaux et à les mettre en jachère pour tenter de maintenir leur richesse.

L'exigence de contrôle de la nature qu'impose l'agriculture change la relation des humains avec la biodiversité. Il y a dorénavant des espèces utiles et des espèces nuisibles, selon qu'elles servent ou diminuent le rendement agricole. On domestiquera les premières et on tentera de faire disparaître les secondes.

Jusqu'à la fin du 18^e siècle, l'agriculture est à la base des civilisations. L'âge de l'agriculture culmine avec les guerres napoléoniennes. L'humanité compte alors environ un milliard d'individus, les famines sont chose commune lorsque les conditions climatiques sont défavorables. À cette époque, tous les besoins énergétiques sont comblés par des sources d'énergie renouvelables. La force musculaire, humaine ou animale, dépend de la production agricole ; le feu, utilisé pour travailler le métal et se chauffer, provient du bois ; le vent et l'eau fournissent la force mécanique qui entraîne les moulins et la force motrice pour les bateaux.

Localement, les agriculteurs vont choisir des variétés de plantes et d'animaux et, par de longs processus de sélection et d'hybridation, favoriser les races et cultivars les mieux adaptés et

les plus performants, créant ainsi une biodiversité dans les espèces domestiques. Avec le commerce, ces dernières seront répandues partout où l'on retrouve des concentrations humaines. Ainsi, les espèces compagnes des humains se dissémineront, entrant en compétition avec la biodiversité locale et causant quelquefois la disparition d'espèces indigènes. Les explorations des 16^e et 17^e siècles, de même que les grands empires coloniaux européens qui ont culminé au 19^e siècle, se sont caractérisées par une mondialisation des échanges, par une perte progressive de la diversité culturelle et par la disparition de nombreuses espèces.

Les sociétés industrielles

La révolution industrielle, qui a débuté à la fin du 18^e siècle en Europe, s'est fondée sur la possibilité d'exploiter des stocks d'énergie fossile. Le charbon, puis le gaz naturel et enfin le pétrole ont permis de fournir de grandes quantités d'énergie, disponibles à volonté, et de les substituer rapidement aux sources d'énergie renouvelables. Le développement se libérait ainsi des aléas météorologiques ou des délais de renouvellement des stocks alimentaires ou forestiers. En plus de l'indépendance et de la commodité (durée prévisible du transport maritime, éclairage urbain et domestique, chauffage et électricité), les carburants fossiles ont rendu possible le développement de machines d'une puissance inédite. Celles-ci ont servi à transformer le paysage, à construire des infrastructures et, en reliant les ports à l'intérieur des continents, à augmenter les échanges commerciaux à l'échelle planétaire. L'introduction du pétrole dans les transports à la fin du 19^e siècle a rapidement favorisé le déplacement des personnes, avec la démocratisation de l'automobile dans les années 1920 et du transport aérien 30 ans plus tard, de sorte que les humains d'aujourd'hui jouissent d'une mobilité extrême.

Grâce à cet apport énergétique, la société industrielle a stimulé la croissance de la population, soutenue par une agriculture plus productive et un approvisionnement indépendant des conditions climatiques. La pétrochimie, activité industrielle fondée sur la chimie du pétrole, a été la source de milliers de produits, dont les plastiques, les pesticides et de multiples molécules inconnues dans la nature. L'industrie agroalimentaire s'est libérée en grande partie de la menace des ravageurs des cultures et des exigences liées au maintien de la fertilité des sols. L'usage massif de produits chimiques et d'engrais minéraux a entraîné un appauvrissement de la biodiversité dans le sol et dans les cours d'eau. L'industrie pharmaceutique, de son côté, a développé des milliers de molécules destinées à soigner les humains, dont plusieurs ne se dégradent pas et contaminent les écosystèmes aquatiques, où elles affectent certaines espèces en perturbant leur métabolisme.

Pour la société industrielle, orientée vers la production de masse, la biodiversité ne comptait pas. À l'instar de la société agricole, où les êtres vivants étaient considérés dans une perspective utilitariste, la société industrielle, avide de territoires, de ressources et grande génératrice de déchets, a carrément négligé la richesse de la nature. Cela explique le déclin des populations d'oiseaux, de mammifères et de poissons, causé par la surexploitation, la pollution, la destruction des habitats et la contamination des sources d'alimentation. Au mieux, la biodiversité est devenue un objet de spectacle et de mode. La conquête de la nature sauvage par l'homme est célébrée jusque dans les années 1970. L'explosion démographique qui a suivi la Seconde Guerre mondiale porte les effectifs de l'humanité à plus de six milliards de personnes à la fin du 20^e siècle. Moins de 10 générations se sont succédé entre l'invention de la machine à vapeur et celle d'Internet.

Toutefois, en réaction à la disparition accélérée d'espèces est né un mouvement de conservation de la nature préconisant la mise en réserve d'éléments remarquables du territoire dans des parcs. Dans la deuxième moitié du 20^e siècle, l'émergence de l'écologie, d'abord comme science, puis comme mouvement social et politique, ramène l'attention sur la biodiversité – un terme qu'Edward O. Wilson crée en 1986 et qui devient rapidement une référence.

L'homme peut-il faire disparaître la vie sur la planète ?

Cette possibilité, parfois évoquée par certains militants, n'a pas de fondement scientifique. Depuis quatre milliards d'années, le monde vivant est dominé par les bactéries. Ces dernières représentent encore aujourd'hui la plus grande portion de la diversité du vivant. Les bactéries se retrouvent dans les environnements les plus inhospitaliers et certaines d'entre elles résistent aux conditions les plus extrêmes et y prolifèrent. Ce sont également les bactéries qui assurent le fonctionnement des cycles biogéochimiques, ces grands processus d'échanges qui permettent aux composés chimiques (le carbone, les métaux, l'eau, etc.) de se retrouver aussi bien dans l'air et dans le sol que dans le vivant. Aucune intervention humaine ne pourrait éliminer les bactéries de la planète. Notre espèce et probablement toutes les espèces supérieures disparaîtraient sans que soit affectée significativement la diversité de la vie bactérienne et sa capacité à continuer son évolution sur la planète. Voilà pour la vie !

L'âge de l'information

Aujourd'hui, nous vivons la combinaison des impacts locaux et globaux de notre prospérité économique. La liste est longue : transformation artificielle de territoires de plus en plus vastes ; agriculture industrielle, avec son cortège d'engrais et de produits chimiques mortels (pesticides, insecticides, herbicides, fongicides) ; contamination des eaux douces et du littoral maritime par des rejets industriels phosphorés et azotés ; surpêche ; déforestation tropicale ; introduction d'espèces invasives dans le sillage du commerce international ; réchauffement du climat... Ces effets combinés sur la biodiversité laissent craindre une sixième grande période d'extinction au 21^e siècle. Mais ce désastre est-il inévitable ?

Depuis les années 1980, c'est-à-dire il y a un peu plus d'une génération, l'humanité est entrée dans une nouvelle ère, celle de l'information. Elle se caractérise par une circulation accélérée des connaissances, des biens et des personnes, la dématérialisation d'une part grandissante de la croissance économique et une mondialisation des échanges de toute nature. L'ère de l'information se décline dans les domaines les plus diversifiés.

L'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs permet de démocratiser l'accès aux connaissances et de modéliser des phénomènes complexes. C'est ainsi qu'on peut aujourd'hui procéder à des simulations réalistes de l'évolution du climat à l'échelle planétaire.

Dans le domaine de la biodiversité, le séquençage de l'information génétique a permis de faire des pas de géant pour comprendre l'évolution des espèces. Mais il est aussi utile pour détecter la présence de certaines espèces dans des écosystèmes sans avoir besoin de les capturer pour attester leur existence. Le séquençage génétique permet également d'identifier dans le vivant des combinaisons de gènes utiles

pour produire des molécules d'intérêt pharmaceutique sans avoir recours à des synthèses chimiques basées sur le pétrole, par exemple.

Ces progrès ont permis d'augmenter l'espérance de vie des humains en améliorant la médecine et l'alimentation. Mais nous sommes maintenant conscients des limites de la planète et des conséquences des changements que nous imposons à l'échelle du globe. Nous sommes aussi beaucoup mieux équipés scientifiquement et techniquement pour assurer le suivi des mesures de protection des espèces et des écosystèmes à l'échelle planétaire.

Les installations industrielles sont toujours présentes, mais leur impact sur l'environnement est plus maîtrisé. On observe une certaine déconnexion entre la croissance économique et ses conséquences environnementales, dont on cherche à modérer l'intensité, mais pas suffisamment pour éviter que la pression sur le climat, les ressources et la biodiversité continue de s'accroître.

À l'ère de l'information, la relation de l'humanité avec la biodiversité pourrait changer. Au lieu d'être purement utilitaire et basée sur l'exploitation des ressources à notre profit, elle pourrait redevenir symbiotique et fondée sur une réciprocité bénéfique et durable. Nous sommes en effet capables de mesurer nos impacts à l'échelle globale, d'effectuer des projections sur notre devenir commun, de prendre conscience de la précarité de certaines espèces et de notre interdépendance avec le reste du monde vivant. Encore faut-il savoir comment y arriver.

LES FORCES MOTRICES

Pour bien comprendre comment s'est construite l'actuelle crise de la biodiversité, il faut connaître les mécanismes qui régulent les équilibres naturels sur notre planète et les forces qui tendent à les perturber. Les impacts de l'activité humaine se

traduisent par des effets directs et indirects sur la biodiversité : ils affectent directement les populations animales et végétales ou indirectement en bouleversant leur habitat. C'est lorsque la capacité de résilience des espèces est dépassée qu'on voit leurs effectifs se raréfier au point de craindre leur disparition.

La mécanique des équilibres naturels

Les éléments nécessaires à la vie sont constamment échangés entre la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. Ainsi, l'eau passe alternativement de l'océan, d'où elle s'évapore, aux nuages et retombe sous forme de précipitations sur les continents. En fonction de la composition de la roche et de la perméabilité du sol, elle pourra s'infiltrer dans des nappes souterraines ou ruisseler dans le réseau hydrologique de surface. Selon son temps de séjour sous la surface et la vitesse des courants, l'eau interagit avec la lithosphère en altérant les roches et se charge de sels minéraux ou de particules qu'elle transporte vers l'aval. Une partie de l'eau qui s'infiltré dans les sols est captée par les végétaux, qui en transpirent une fraction et en intègrent une autre à leurs molécules par la photosynthèse.

Ces molécules constituant les végétaux seront consommées par les animaux, qui rejetteront ensuite de l'eau sous forme d'urine ou de vapeur dans leur respiration. Naturellement, ils en intégreront aussi une part à leurs cellules et à leurs molécules. Les tissus végétaux et animaux morts alimenteront les décomposeurs (bactéries, vers, insectes, champignons), et l'eau qu'ils contiennent finira sous la forme d'humidité dans l'humus. Elle sera finalement récupérée par les plantes ou s'évaporerà vers l'atmosphère. Les eaux souterraines remonteront dans le réseau de surface après quelques jours ou quelques années et rejoindront les fleuves vers la mer. Comme l'eau est

Les composantes de l'écosphère

On distingue quatre composantes essentielles qui décrivent le système planétaire :

- la lithosphère, ou partie solide, composée de matériaux comme les roches, dont l'altération par le climat et le vivant donnera les sols ;
- l'hydrosphère, ou partie liquide, constituée essentiellement de l'océan mondial qui recouvre 71 % de la surface planétaire et dont la profondeur moyenne est de 4 000 mètres. Grâce au cycle de l'eau, il y a transport, transit et stockage sur les continents d'environ 2,6 % du volume des eaux mondiales sous forme d'eau douce. La majeure partie de cette eau douce est stockée sous forme solide dans les glaciers (cryosphère) ;
- l'atmosphère, ou partie gazeuse, dont l'évolution définit les climats ;
- la biosphère, ou partie vivante, qui se retrouve à l'interface des trois autres composantes. La vie est un phénomène de surface. Dans les océans, les mammifères marins et le plancton vivent à l'interface de l'hydrosphère et de l'atmosphère, alors que les poissons de fond et le benthos vivent à l'interface de la lithosphère et de l'hydrosphère. Sur les continents, les sols sont à l'interface de la lithosphère et de l'atmosphère et même les plus grands arbres ne peuvent vivre sans être à cette interface. Quant aux oiseaux, ils doivent nicher et se nourrir sur un support solide ou liquide.

nécessaire à la vie, on retrouvera des manifestations de la biodiversité partout où elle séjourne.

Des cycles semblables, mais bien plus complexes, existent pour le carbone, le phosphore, l'azote, le soufre et tous les éléments constituant le vivant. Ainsi, les compartiments de l'écosphère qui forment le système planétaire sont mis en communication par la présence du vivant. Des bactéries aux plus grands organismes, tous dépendent de ces interactions et du maintien de ces cycles auxquels ils participent.

La notion d'écosystème est centrale pour comprendre la biodiversité. L'écosystème est un ensemble défini géographiquement où des êtres vivants interagissent entre eux et avec les composantes physico-chimiques de leur environnement. L'énergie y circule à travers les échanges nutritionnels entre vivants, qu'on appelle relations trophiques. La matière y est recyclée, ce qui contribue aux grands cycles qui font circuler des éléments chimiques dans le système planétaire. Par extension, la planète et ses quatre composantes (lithosphère, hydrosphère, atmosphère et biosphère) constituent l'écosystème ultime.

Les organismes qui tirent leur énergie de ce qui n'est pas vivant sont qualifiés d'autotrophes. C'est le cas des végétaux qui produisent eux-mêmes leur matière organique à partir de dioxyde de carbone provenant de l'atmosphère et d'eau, en captant l'énergie lumineuse. Ils forment la base des réseaux trophiques. L'énergie nécessaire pour faire fonctionner cette immense machine vient presque exclusivement de la lumière du soleil. Une proportion difficile à évaluer, mais très faible, provient de la chimiotrophie, c'est-à-dire la capacité de certains organismes vivants à tirer leur énergie de composés chimiques. Ces organismes se retrouvent dans les fonds marins, dans des milieux extrêmes comme les geysers, les lagunes très

salées et les eaux souterraines très profondes. Ils étaient inconnus il y a à peine 50 ans et les biologistes peuvent encore aujourd'hui découvrir de nouvelles espèces.

L'expression «équilibre écologique» est l'une des plus souvent utilisée pour évoquer l'état souhaitable de la nature. Mais comment donc un écosystème, ouvert et soumis aux variations de son environnement, peut-il être en équilibre ?

L'équilibre se conçoit de deux façons. Si un système demeure stable, c'est-à-dire que sa composition ou sa position ne varie pas au fil du temps, on dira qu'il est «à l'équilibre». C'est le cas d'une balance à plateaux sur laquelle on a placé deux objets de masse identique. On parle alors d'équilibre statique.

Les équilibres écologiques, eux, sont dynamiques. Le bilan des forces qui les animent peut changer avec le temps, car le système est ouvert. Les contraintes internes et externes leur permettent de se maintenir dans une certaine stabilité tout en continuant d'évoluer. C'est pourquoi on parle de stabilité ou d'équilibre dynamiques. Même s'ils sont composés d'individus en constante interaction et soumis à des pressions venues de l'extérieur, la résilience des systèmes écologiques leur permet généralement de retrouver leur équilibre et de se maintenir à long terme.

L'évolution des écosystèmes

L'équilibre des écosystèmes n'est pas immuable. Au fil du temps, le fonctionnement de l'écosystème tend à l'enrichir. Il accumule des stocks de matière organique ou de nutriments, qui constituent un terrain favorable pour le développement de nouvelles niches écologiques. Par exemple, un sol se constitue à partir de l'altération de la roche mère et, avec le temps, s'enrichit de matière organique et de nutriments rapportés à

la surface par les racines et la chute des feuilles. À terme, l'augmentation de sa fertilité lui permet de satisfaire les besoins de plantes plus exigeantes et d'accueillir de nouveaux décomposeurs comme les lombrics, qui à leur tour attireront des oiseaux comme les bécasses ou les merles.

Un lac agit de la même façon. Il se charge de matériel grâce à l'érosion, la dissolution de nutriments et l'apport de matière organique provenant du bassin qui l'alimente. Au cours des millénaires, ou beaucoup plus rapidement si l'activité humaine bouleverse son bassin versant, il tend à s'enrichir. Les organismes qui vivent dans un lac riche en nutriments sont très différents de ceux qui vivent dans un lac pauvre en nutriments.

La plupart des écosystèmes sont perturbés de façon régulière par des événements plus ou moins imprévisibles et destructeurs, comme les incendies ou les inondations. La capacité des espèces composant un écosystème à résister aux conditions adverses, se régénérer ou recoloniser le territoire après une catastrophe s'appelle la résilience. Certaines espèces reviennent très vite, d'autres sont moins performantes à cet égard. La composition d'un écosystème peut donc changer rapidement. Les espèces mieux adaptées à des perturbations cycliques ont tendance à devenir dominantes, voire à monopoliser à divers degrés leur milieu.

À l'échelle planétaire, des variations naturelles de l'orbite terrestre modifient la quantité d'énergie solaire disponible en fonction de cycles astronomiques connus, ce qui provoque de grands changements climatiques comme les glaciations. Pendant ces périodes plus froides, la glace s'accumule sur les continents et la surface marine se couvre de banquises, affectant la répartition des plantes et des animaux. Ces glaces augmentent l'albédo de la surface du globe, c'est-à-dire sa faculté

de réfléchir l'énergie solaire au lieu de l'absorber et de la transformer en chaleur, ce qui tend à amplifier le refroidissement. Lors des périodes interglaciaires, la végétation reconquiert la surface continentale libérée des glaces. L'alternance entre les ères glaciaires et interglaciaires transforme profondément les écosystèmes proches des pôles et modifie l'aire de répartition des espèces. L'accumulation de glace sur les continents empêche la végétation de s'implanter et provoque la baisse du niveau des océans, ce qui favorise la colonisation de certaines îles ou la migration d'espèces d'un continent à l'autre.

La planète est soumise à des changements qui affectent les conditions d'existence du vivant au fil du temps. Comme les organismes doivent s'adapter, la composition de la biodiversité évolue dans l'espace et dans le temps. Même si, en apparence, les écosystèmes se maintiennent sur de longues périodes, en réalité, ils changent et leur composition spécifique se transforme.

Pour évaluer la résilience d'un écosystème qui subit une perturbation, on utilise la notion de capacité de support. Il s'agit de sa capacité à revenir spontanément à une composition et un fonctionnement semblables à son état initial. La perturbation peut résulter d'un prélèvement, par exemple la pêche, la chasse ou la coupe forestière, ou d'une transformation des conditions physicochimiques, par exemple l'acidification d'un lac. La capacité de support dépend de la résilience des espèces présentes.

Dans un écosystème, la capacité de support est déterminée par les effectifs de chaque espèce, leur potentiel reproductif et l'espérance de vie des individus. Les effectifs d'une population ne doivent pas descendre sous un seuil minimal, qui permet la reproduction, ni dépasser un nombre maximal, qui entraînerait la surexploitation des ressources essentielles. La capacité

de support de l'écosystème repose sur quelques espèces clés, dont les effectifs doivent permettre de maintenir les fonctions écosystémiques.

La complexité de l'écosystème et de l'ensemble des interactions qui s'y exercent limitent notre capacité à le comprendre et à porter un jugement éclairé. Traditionnellement, les humains ont exploité les écosystèmes sans se soucier de leur capacité de support. Malheureusement, lorsqu'une activité économique se développe, l'exigence d'un rendement toujours plus grand accentue la pression. Le résultat est que l'on découvre souvent les limites du système parce qu'on les a dépassées avant de les comprendre.

Il peut y avoir des effets en cascade. Le déclin d'une espèce clé entraîne d'autres espèces qui en dépendent dans une spirale mortifère. Les espèces clés peuvent être des proies, des pollinisateurs ou des organismes qui vivent en symbiose avec leurs voisins. Par exemple, dans le phénomène du blanchiment du corail, les algues, qui permettent au corail de se nourrir, sont expulsées, causant le dépérissement de tout l'écosystème.

À l'échelle de la biosphère, la capacité de support est une question hypothétique. Fixer des limites théoriques est un exercice intéressant, mais les incertitudes sont tellement grandes qu'une approche prudente s'impose. On parle alors du principe de précaution. En effet, nous sommes tributaires des équilibres de la planète pour notre propre existence. Comme nous n'avons pas de modèle pour expérimenter nos théories, les limites présumées de la biosphère demeureront des hypothèses tant qu'elles n'auront pas été franchies. Mieux vaut ne pas en arriver là.

L'humanité et les forces motrices de la sixième extinction de masse

À la faveur de son expansion démographique et technologique, l'humanité a multiplié ses effectifs par cinq en moins de six générations. Les projections des Nations Unies prévoient que cette tendance s'atténuera vers la fin du 21^e siècle. Il est virtuellement certain que la population atteindra les 10 milliards de personnes entre 2050 et 2060, contre un peu moins de 7,8 milliards en 2020. Pour 2100, l'estimation varie de 9 à 13 milliards d'individus. La croissance de la population humaine et de ses besoins d'espace, de matières premières et d'énergie sont les principales forces qui menacent la biodiversité à l'échelle planétaire. Il faut aussi disposer des déchets de l'activité humaine, ce qui modifie localement et globalement les conditions d'existence du vivant.

La croissance démographique ne cesse d'inquiéter depuis les années 1960. Un siècle et demi auparavant, l'économiste anglais Thomas Malthus avait postulé que la population humaine augmentait plus vite que les ressources disponibles pour satisfaire ses besoins, ce qui allait se traduire par des famines ou des migrations. Cette vision un peu simpliste a été contredite jusqu'à maintenant. Le progrès scientifique, les innovations techniques, en particulier la Révolution verte, et l'augmentation des échanges commerciaux sur la planète ont fait que nous sommes aujourd'hui beaucoup plus nombreux, que nous vivons plus vieux et que la pauvreté extrême a reculé de façon significative au cours des trois dernières décennies. Mais l'inquiétude quant à la capacité de la biosphère à absorber les déchets de notre activité s'intensifie.

Cette crainte a été remise au goût du jour à la lumière du rapport Meadows, *Halte à la croissance?*, en 1972. On y reprend

les craintes de Malthus, mais cette fois-ci à l'échelle de la planète. Notre demande de ressources, toujours croissante, et la capacité de la planète à les fournir de façon durable tout en absorbant nos déchets laissent craindre un effondrement.

En 2009, Johan Rockström et ses collègues du Stockholm Resilience Center ont publié dans la revue *Nature* un article qui proposait neuf paramètres pour mesurer les limites de la capacité de support de la planète : l'état de la couche d'ozone, la présence d'aérosols dans l'atmosphère, la dissémination de nouvelles substances, l'acidification des océans, les cycles biogéochimiques du phosphore et de l'azote, les réserves d'eau douce, la transformation du territoire, la perte de biodiversité et les changements climatiques. Il est légitime de s'inquiéter lorsqu'on constate que, déjà, quatre des limites ainsi définies ont été franchies. Parmi elles, la perte de biodiversité atteint un niveau alarmant excédant grandement la capacité de résilience supposée de la Terre.

La même équipe a postulé l'existence de points de bascule. Lorsque le système dépasse ces limites, il se met à évoluer de manière erratique et ne revient pas à son équilibre initial. Un des points de bascule mis en avant concerne le réchauffement du climat, qui commence à se manifester par des événements en cascade.

Mais comment s'exercent les pressions des humains sur la biodiversité ? La réponse n'est pas simple. D'abord, les humains, comme tous les autres animaux, se nourrissent du vivant. Notre alimentation est composée d'animaux, de plantes et de produits animaux ou végétaux transformés par des bactéries, des champignons ou des levures. Cette relation fondée sur l'alimentation ne peut être satisfaite que par le prélèvement direct, à même des populations sauvages, ou par l'agriculture et l'élevage.

L'humanité occupe une place disproportionnée par rapport aux autres vivants. Voyons cela en quelques chiffres. En masse, les quelque 7,5 milliards d'humains qui vivent sur la planète représentent 0,01 % de la biosphère, mais 36 % de tous les mammifères terrestres et marins. Le poids des animaux d'élevage destinés à notre alimentation en représente quant à lui 60 %, ne laissant aux mammifères sauvages qu'une proportion de 4 % du total. De leur côté, les volailles d'élevage (poulets, dindes, canards, autruches, pintades) forment 70 % de la biomasse des oiseaux sur la planète, ne laissant que 30 % pour les oiseaux sauvages.

Bien que les océans couvrent 70 % de la surface planétaire, ils n'abritent que 14 % de la biomasse totale, dont l'écrasante majorité (13 %) est composée de bactéries des fonds marins. Les populations de poissons sauvages sur lesquelles reposent les pêcheries mondiales représentent donc une infime partie de la biosphère. Aujourd'hui, on estime que la majorité des stocks de poissons sauvages sont exploités à la limite ou au-delà de leur seuil de renouvellement.

On peut donc conclure que la consommation de viande et de poisson par les humains impose une pression énorme sur la biodiversité. Or, comme l'indique la figure 1, cette consommation augmente à mesure que les individus s'enrichissent, en particulier dans les pays émergents comme la Chine et l'Inde.

Dans l'histoire de l'humanité, nos ancêtres ont éliminé progressivement d'immenses populations d'animaux sauvages et des forêts entières pour développer l'agriculture. Dans l'est de l'Amérique du Nord, par exemple, les forêts qui se trouvaient là où l'on cultive aujourd'hui des céréales ont disparu au 19^e siècle. Les millions de bisons qui vivaient dans les plaines de l'Ouest américain ont été pratiquement exterminés pour faire place à des champs de céréales et à des troupeaux de vaches. Au Brésil et ailleurs, d'immenses super-

ficies de forêts tropicales ont cédé le pas à du soya et à des troupeaux de bovins.

À travers l'histoire, on a aussi recherché certains produits animaux spécifiques : graisse, peaux, fourrures, plumages, ivoire, etc. Les exemples de prélèvements excessifs, qui ont anéanti des populations ou des espèces entières, sont légion. La chasse à la baleine a failli faire disparaître la majorité des cétacés des océans. Dans le cas du grand pingouin, qui formait d'abondantes colonies dans l'Atlantique Nord, la chasse

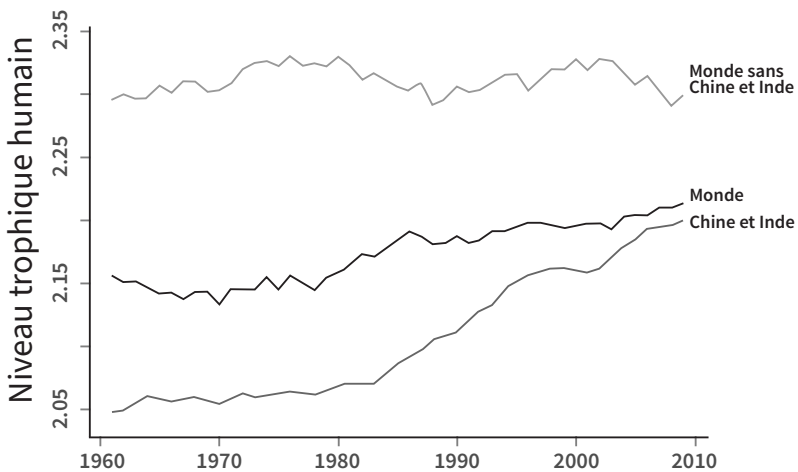


Figure 1- Évolution du niveau trophique de l'humanité

Le niveau trophique évalue en quelque sorte le degré de dépendance alimentaire des êtres vivants. À chaque degré correspond une perte énergétique. Au niveau 1 se trouvent les plantes et les micro-organismes qui fabriquent leur nourriture sans consommer d'autres espèces. Le niveau 2.0 représente une alimentation constituée uniquement de végétaux. La présence de viande et de poissons fait augmenter l'indice du niveau trophique d'un régime alimentaire.

Source: BONHOMMEAU, S., *et al.* (2013). «Eating up the world's food web and the human trophic level», *PNAS (Proceeds of the National Academy of Sciences of the United States of America)*. Disponible en ligne.

commerciale a exterminé les derniers individus avant le milieu du 19^e siècle. Plusieurs espèces d'oiseaux ont également été amenées au seuil de l'extinction à la fin du 19^e siècle pour fournir des plumes qui répondaient aux caprices de la mode dans les capitales occidentales.

Au-delà de la pression alimentaire, le braconnage et le trafic d'espèces menacées affectent encore aujourd'hui des populations rares. L'appétit de la pharmacopée traditionnelle pour certains organes d'animaux ou pour des plantes rares fait monter leur prix et encourage leur exploitation excessive. Au 20^e siècle, le commerce de l'ivoire a fragilisé plusieurs populations d'éléphants. Les vertus que la pharmacopée chinoise prête à la corne de rhinocéros ont placé ce grand mammifère dans une situation précaire. Il en va de même pour les écailles de pangolin, les vésicules biliaires d'ours, les testicules de tigre. La persistance de ces croyances et les prix offerts par des réseaux de contrebande mafieux bien organisés aux individus pauvres vivant près des aires protégées entretiennent ce genre de commerce malgré les conventions internationales qui l'interdisent.

Outre le prélèvement direct, les humains peuvent nuire à la biodiversité en transformant l'habitat essentiel des espèces. Dans les écosystèmes, les conditions physiques, chimiques et biologiques sont étroitement liées. Leurs variations habituelles déterminent les paramètres auxquels les individus sont en mesure de s'adapter dans le cours de leur existence. Si ces conditions sont modifiées au-delà de la capacité d'adaptation de certains individus, ces derniers risquent d'en mourir, d'être incapables de se reproduire ou de devoir migrer vers des lieux plus compatibles avec leurs besoins.

Par exemple, la transformation ou l'artificialisation des surfaces dans les villes, l'utilisation de pesticides dans les régions agricoles, le morcellement du territoire forestier, les rejets de

fertilisants ou de déchets industriels dans les eaux et le drainage des milieux humides sont autant de modifications de l'habitat qui peuvent affecter la biodiversité. Chacun de ces actes a ses effets propres, mais, comme nous l'apprend l'éco-toxicologie, qui étudie la présence et les effets des polluants dans la nature, ils peuvent avoir des effets combinés encore plus graves. Par exemple, une espèce pourrait résister assez bien à un polluant, mais pas à la combinaison de ce poison avec un autre facteur comme l'augmentation de la température ou l'acidification provenant des activités humaines.

Enfin, l'introduction d'espèces non indigènes dans un milieu peut accroître la compétition pour les ressources, la prédation ou le parasitisme d'une manière inédite et à laquelle les espèces indigènes ne sont pas adaptées. Quand on plante dans une communauté une espèce qui n'a ni prédateurs ni parasites, on la transforme en espèce invasive, puisqu'elle concurrence les espèces locales et peut les faire disparaître.

Beaucoup des impacts indirects de l'humanité sur la biodiversité sont liés à l'agriculture et au commerce international. C'est pourquoi les neuf limites planétaires proposées par Rockström et son équipe sont toutes liées entre elles. La perte de biodiversité, qui est la plus préoccupante, résulte donc en partie de l'ensemble des autres facteurs de stress environnemental observés à l'échelle de la planète.

Malgré des efforts de protection consentis dans les milieux terrestres et marins pour favoriser la survie de certaines espèces menacées, plusieurs d'entre elles peinent à reconstituer leurs effectifs. Par exemple, les baleines noires de l'Atlantique, dont il reste environ 400 individus, ne parviennent pas à maintenir leur population malgré les mesures prises depuis près de 50 ans. Les activités humaines continuent à frapper mortellement ces baleines, qui s'empêtrent dans des engins

de pêche ou entrent en collision avec des bateaux. En effet, elles ont dû migrer vers le golfe du Saint-Laurent à la suite du déplacement de leurs proies. Cette migration est attribuée au réchauffement des eaux provoqué par les changements climatiques. Ce phénomène remet ainsi en cause l'efficacité des aires protégées, car les espèces se déplacent pour trouver les conditions qui leur conviennent le mieux, indépendamment du statut de conservation qu'on a pu leur attribuer.

L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA BIODIVERSITÉ

Parmi les forces qui agissent sur la biodiversité, la plus importante est sans doute le réchauffement du climat planétaire, lié à l'accumulation dans l'atmosphère des gaz à effet de serre émis par l'activité humaine. Le réchauffement est un phénomène d'une grande complexité, qui interfère avec les mécanismes de régulation du climat planétaire. Ses effets se font sentir en tous points du globe de diverses manières et il affecte aussi bien la condition physiologique des animaux et des plantes que les composantes de leur habitat. L'impact des changements climatiques s'ajoute aux autres pressions exercées sur la biodiversité à l'échelle locale par les activités humaines et en exacerbe souvent les conséquences.

Les causes du réchauffement planétaire

Les gaz à effet de serre à longue durée de vie s'accumulent inexorablement dans l'atmosphère. Par exemple, on peut voir à la figure 2 que le dioxyde de carbone (CO₂), le principal gaz à effet de serre impliqué dans le réchauffement climatique, est en augmentation soutenue depuis qu'on le mesure quotidiennement à l'observatoire de Mauna Loa, à Hawaï. Bien que

la mesure des concentrations des autres gaz préoccupants ne soit pas effectuée depuis aussi longtemps, la tendance de leur évolution est similaire. Depuis 1980, un réseau de stations, de Barrow, en Alaska, jusqu'au pôle Sud, enregistrent ces concentrations, ce qui permet d'établir des moyennes globales.

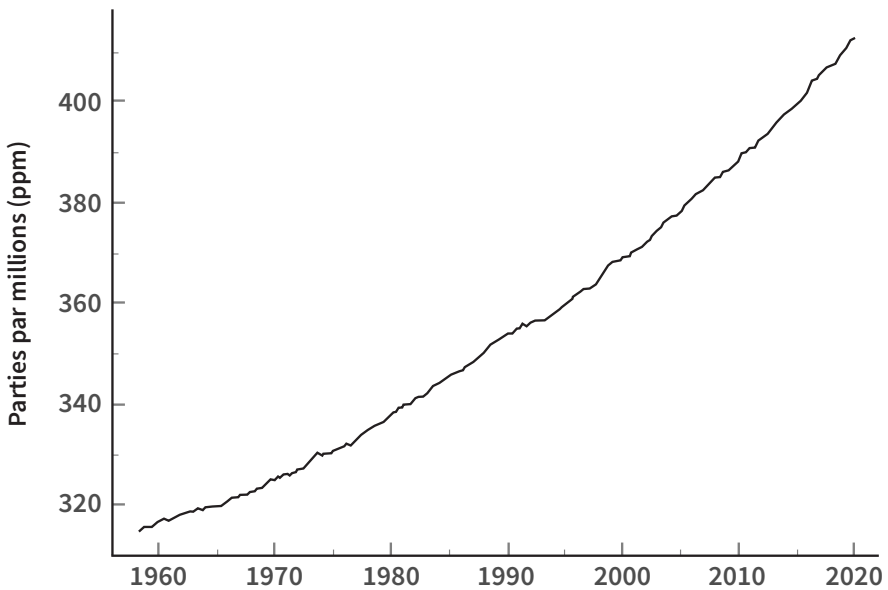


Figure 2 - Évolution de la concentration de CO₂ mesurée à l'observatoire de Mauna Loa (Hawaï)

La concentration de CO₂ préindustrielle (1750) est estimée à 277 parties par millions (ppm). En 1958, quand on a commencé les mesures, la concentration était de 315 ppm. En 2020, elle atteint 415 ppm. (Données de la NOAA.)

Source : adapté de Global Monitoring Laboratory, 2020.

Les émissions annuelles de CO₂ sont passées d'environ 5 milliards de tonnes dans les années 1950 à plus de 36 milliards en 2018. Conséquence de cette augmentation accélérée, la température moyenne observée sur Terre s'est réchauffée

d'un peu plus d'un degré Celsius depuis 1880. Et plus de la moitié de cette hausse s'est produite depuis 1980, comme on peut le voir sur la figure 3. La température moyenne de 2019 a été la deuxième en importance jamais enregistrée depuis 1880. Les cinq moyennes les plus chaudes ont été observées depuis 2015. La hausse de la température planétaire est clairement en accélération.

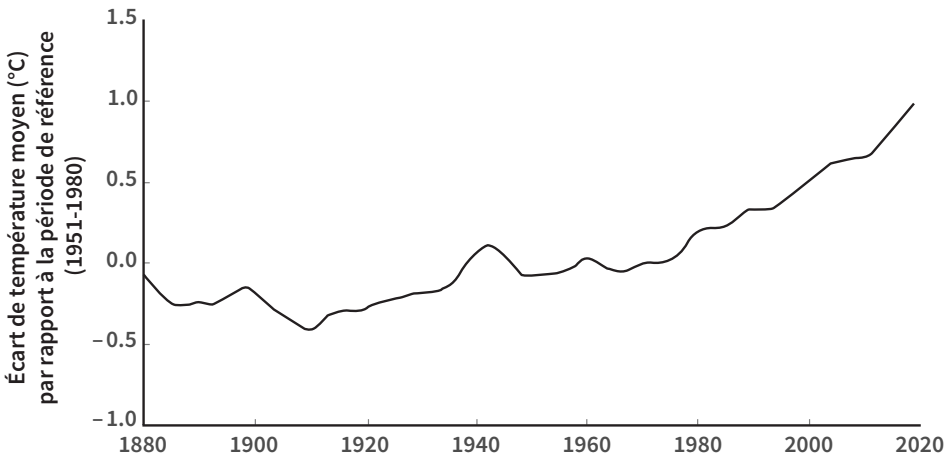


Figure 3 - Évolution de l'écart par rapport aux températures moyennes sur la planète depuis 1880

Source : adapté de NASA, 2020.

Dans les océans, la chaleur s'accumule d'année en année. En 2019, les mesures prises à la surface des océans, sur les deux premiers kilomètres de profondeur, ont dépassé toutes les accumulations de chaleur précédemment enregistrées. Étant donné que, sous l'effet de la dilatation thermique, une eau plus chaude occupe un volume plus grand, ce phénomène contribue dans une proportion de 39% à la hausse observée du niveau de la mer.

La régulation du système climatique est un phénomène complexe dans lequel les océans jouent un grand rôle, puisqu'ils sont les principaux réservoirs d'énergie thermique de la planète. Les interactions entre les océans et l'atmosphère permettent de répartir la chaleur partout sur la Terre. Ces transferts s'effectuent à travers le cycle de l'eau (évaporation, condensation, précipitation) et les courants marins. Ainsi, le réchauffement des eaux dans les bassins océaniques entraîne une modification du cycle des précipitations sur les continents. L'interaction entre océans et atmosphère est cruciale pour la biodiversité.

Les conséquences du réchauffement sur la vie dans les océans

D'abord, en milieu océanique, la majorité des êtres vivants ajustent leur température à celle de l'eau. Dans le contexte d'un réchauffement, ils vont devoir s'adapter en migrant vers des zones plus confortables. On observe d'ailleurs le déplacement de divers poissons et invertébrés vers des latitudes plus élevées et plus fraîches. Ces espèces, qui constituent des stocks de nourriture, sont naturellement suivies par leurs prédateurs. Dans certains cas, la migration est limitée par des exigences écologiques particulières. Par exemple, les coraux doivent demeurer à proximité des côtes, dans des eaux peu profondes où ils peuvent compléter leur cycle vital et construire des récifs. Ces récifs constituent un habitat idéal pour toute une faune, qui y trouve abri et nourriture. Malheureusement, les coraux sont très sensibles à l'augmentation de la température. Lorsque leur seuil de tolérance est dépassé, leur mort affecte l'ensemble de la communauté qu'ils abritaient.

La température de l'air se réchauffant beaucoup plus vite aux latitudes élevées, la fonte des calottes polaires du

Groenland et de l'Antarctique amène dans les océans des quantités importantes d'eau qui était emprisonnée dans la glace, ce qui contribue aussi à l'élévation du niveau de la mer. On prévoit que cette hausse pourrait dépasser un mètre dans le courant du 21^e siècle.

Cette élévation, combinée à des épisodes climatiques plus violents, occasionne une érosion côtière accélérée. Le réchauffement des océans contribue également à accroître la fonte de la banquise qui se forme sur l'eau au fil des ans, car cette glace épaisse ne fond pas complètement en été, en particulier dans l'océan Arctique. Bien que la fonte de la banquise ne contribue pas à la hausse du niveau de la mer, elle est l'un des facteurs qui modifie en profondeur et de façon critique l'habitat de plusieurs espèces. Ainsi, l'ours polaire ne bénéficie plus du terrain de chasse aux phoques que constituait la banquise.

Sur le continent, le renard arctique a dû se déplacer à la suite de l'extension du territoire du renard roux, un compétiteur plus gros et agressif. Les populations de caribous et de rennes sont décimées par la transformation de leur habitat sur tout le pourtour de l'Arctique. Ce phénomène, en accélération depuis 1990, laisse peser une menace sur la survie de nombreuses espèces dans l'ensemble du territoire bordant cet océan.

Par ailleurs, un effet pernicieux de l'accumulation de CO₂ dans l'atmosphère est l'acidification des eaux de surface. En effet, mis en contact avec l'eau de mer, le CO₂ s'y dissout et forme de l'acide carbonique, ce qui tend à faire baisser le pH. Cette acidification affecte de nombreuses espèces de phytoplancton et de zooplancton, des organismes végétaux et animaux de très petite taille, mais aussi des mollusques, des larves de poissons et les coraux.

Les conséquences du réchauffement sur la vie terrestre

En milieu terrestre, le réchauffement du climat affecte la biodiversité de plusieurs façons, directes et indirectes. Des périodes de sécheresse sont plus propices aux feux. La fonte accélérée de la neige peut provoquer des crues inhabituelles. Les changements climatiques modifient non seulement les températures moyennes, saisonnières et annuelles, mais ils influencent aussi la nature, l'intensité et la fréquence des précipitations. Or le régime des températures et des précipitations annuelles détermine en grande partie la productivité et la composition des communautés végétales. À leur tour, les végétaux influencent la présence et l'abondance des animaux.

Pour plusieurs espèces, de nouvelles conditions climatiques imposent des contraintes d'adaptation qui peuvent mettre en péril leurs effectifs ou provoquer leur migration. Lorsque des espèces plus compétitives envahissent des zones où vivaient des populations fragilisées, on observe souvent la disparition des secondes, qui ne disposent plus de refuge pour s'alimenter ou compléter leur cycle vital. Une projection de l'University College, à Londres¹, appliquée à plus de 30 000 espèces terrestres et marines de vertébrés, d'invertébrés et de plantes, a déterminé des risques de disparition de communautés complètes si, pendant une période de cinq années consécutives, la température maximale excédait la température la plus chaude survenue dans la période 1880-2005. Les régions tropicales, où se trouvent les écosystèmes les plus riches, sont les plus sensibles à ce genre de perturbation. En effet, les espèces qui vivent dans ces écosystèmes évoluent dans un climat qui connaît très peu de variations au cours de l'année. Leur capacité d'adaptation à des températures inhabituelles est donc très limitée. Malgré les limites de cette modélisation, qu'il faudra

valider par des suivis de terrain serrés, l'hypothèse d'une accélération de l'extinction de masse dès les prochaines décennies est sérieuse.

Ces phénomènes font craindre que le réchauffement du climat dû à la concentration du CO₂ ait des impacts de plus en plus graves sur la biodiversité et sur l'espèce humaine, comme l'indique la figure 4.

Bref, comme les animaux et les plantes sont dépendants des conditions climatiques, les modifications imposées au climat par les activités humaines s'ajoutent aux autres impacts de l'expansion démographique et de l'exploitation croissante du territoire et des ressources pour satisfaire des besoins humains toujours plus grands. Est-il possible de faire autrement ?

Pierre Dansereau, l'un des pionniers de l'écologie, qui nous a quittés en 2011, disait : « Nous sommes chanceux dans notre malheur car, si un problème est créé par les humains, seuls les humains peuvent le résoudre. » L'humanité possède aujourd'hui les connaissances, les outils techniques et les moyens financiers pour faire les choses autrement. Jamais, dans notre histoire, nous n'avons collectivement disposé d'autant de chances de maîtriser notre avenir plutôt que d'en être les victimes. Mais le temps presse, la biosphère montre des signes de fragilité, saurons-nous les interpréter correctement et nous gouverner en conséquence ?

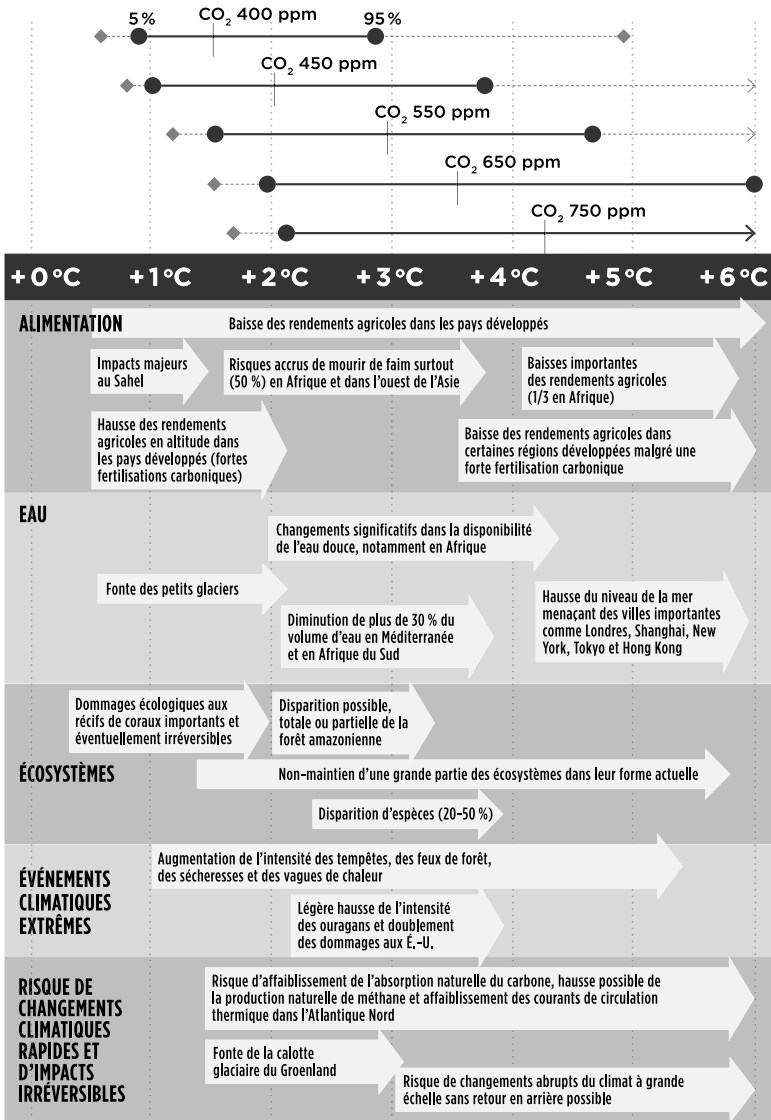


Figure 4 - Gradation des impacts des changements climatiques en lien avec la concentration de CO₂ atmosphérique et l'augmentation de température prévisible au 21^e siècle.

Source : VILLENEUVE, C. (2013). *Est-il trop tard ? Le point sur les changements climatiques*, Montréal, Éditions Multimondes.

LE DÉVELOPPEMENT DURABLE ?

L'activité humaine engendre des forces qui imposent à la biodiversité des stress considérables, mais avons-nous le choix ? Chaque personne qui naît mérite qu'on s'assure de lui donner les moyens d'une vie saine et productive. Pour cela, une alimentation qualitativement et quantitativement suffisante, de l'eau potable, un approvisionnement énergétique convenable pour lui permettre de préserver sa santé, s'instruire et participer à la vie de la société sont un minimum nécessaire. Mais comment arriver à promouvoir la santé, la paix et la biodiversité tout en poursuivant la prospérité économique et la satisfaction des aspirations individuelles ?

C'est le défi auquel nous convie la notion de développement durable, telle qu'elle a été établie par les Nations Unies dans le Programme de développement durable à l'horizon 2030 aussi appelé Agenda 2030. Pendant 40 ans, une multitude de travaux aux résultats quelquefois décevants ont été entrepris pour appliquer l'idée de développement durable à diverses échelles. Mais, comme l'écrivait Francesco di Castri en 1998, ces initiatives, trop limitées, parfois dogmatiques, ne se qualifiaient ni dans la durée ni au point de vue des retombées attendues. En 2012, la conférence Rio+20 a donné le mandat aux pays membres des Nations Unies de formaliser un programme ambitieux jusqu'en 2030, pour remplacer les Objectifs du millénaire pour le développement et mettre en œuvre le développement durable dans une approche intégrée et universelle. Adoptés en 2015 par l'assemblée générale de l'ONU, les 17 objectifs de développement durable (ODD) illustrés à la figure 5 et leurs 169 cibles balisent la voie vers un développement humain respectueux des équilibres naturels, qui ne laisse personne à la traîne.



Figure 5 - Les 17 objectifs de développement durable

Source: Nations Unies, 2015.

Les 17 ODD forment un système dont les composantes interagissent les unes avec les autres. Les impératifs de satisfaction des besoins humains y sont liés à la capacité de support des milieux naturels, afin d'établir une dynamique qui serve l'humain tout en respectant l'environnement.

Un scénario inédit

Au même titre que la modélisation informatique permet d'envisager le pire, elle peut aider à élaborer un avenir beaucoup plus souhaitable pour l'humanité et la biodiversité. Et si, au lieu de prévoir la misère, les catastrophes climatiques et la destruction massive de la biodiversité, comme nous y a poussés l'ère industrielle, nous appliquions le développement durable avec le savoir auquel nous donne accès l'ère de l'information ?

Dans la préparation du sixième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), prévu pour 2022, les modélisateurs ont alimenté leurs ordinateurs avec un scénario basé sur la prémisse suivante : on a postulé que le monde va changer graduellement, mais avec détermination, en mettant l'accent sur un développement plus inclusif, qui respecte les limites de la planète en vertu du principe de précaution. C'est le scénario qui résulte de l'application de l'Agenda 2030 du développement durable dans une perspective d'amélioration continue tout au long du siècle.

Les résultats sont étonnants. Trois tendances fortes se dessinent : la gestion des ressources communes (air, océans, biodiversité) s'améliorera progressivement, les investissements dans la santé et l'éducation vont accélérer la transition démographique et l'importance accordée à l'indicateur de la croissance économique va diminuer au profit du bien-être humain. En

conséquence, l'humanité pourrait se retrouver en 2100 dans un monde complètement transformé.

La population mondiale, qu'on évalue en 2020 à 7,8 milliards de personnes, aura diminué à 6,9 milliards en 2100. La scolarisation des femmes en sera la première explication. En effet, il a été largement démontré que le nombre moyen d'enfants par femme diminue avec le niveau de scolarité et de revenus. Mais ce n'est pas tout.

Les citoyens de 2100 seront plus en santé et leur espérance de vie aura augmenté. La population sera urbaine à 92% et vivra dans des villes sûres, efficaces et conviviales. Le PIB moyen par habitant devrait atteindre 70 000 dollars américains (selon la valeur du dollar en 2005). La durée de scolarisation moyenne mondiale dépassera dès 2050 celle de l'Europe aujourd'hui, pour atteindre 14 ans en 2100. L'analphabétisme aurait donc virtuellement disparu.

La consommation totale d'énergie en 2100 ne serait pas plus élevée que celle de maintenant, mais la part des carburants fossiles deviendrait progressivement marginale. Malheureusement, le scénario de l'Agenda 2030 ne permettrait pas à lui seul de limiter l'augmentation de la température terrestre pour la maintenir sous la barre des deux degrés, comme le voudrait l'Accord de Paris. Pour y parvenir, il faudrait des efforts beaucoup plus importants dès maintenant et des avancées technologiques capables de pénétrer rapidement le marché. Le GIEC a balisé la voie pour y arriver dans son rapport spécial d'octobre 2018.

Une société riche, éduquée, pacifiée et urbaine pourrait investir de manière considérable dans la préservation et la mise en valeur de la biodiversité. Pourrions-nous, dans ce nouvel âge de l'humanité, retrouver les racines de l'alliance entre les cultures autochtones et la biodiversité, bref reconnaître

l'appartenance de l'humanité à sa planète dans une grande solidarité du vivant?

Il y a loin de la modélisation à la réalité, mais les projections que nous permet l'informatique constituent des hypothèses qui peuvent guider nos actions aujourd'hui pour que l'avenir ressemble à ce que nous voulons collectivement en faire. C'est aussi un enjeu de sécurité, car l'érosion de la biodiversité menace les écosystèmes dont nous dépendons.

Mais comment le développement durable peut-il nous permettre de concrétiser ces projections? Pour répondre à cette question, explorons ici quelques pistes de synergies entre les cibles des objectifs de développement durable et la conservation de la biodiversité.

La synergie entre développement durable et biodiversité, point par point

L'ODD 1 vise l'élimination de la pauvreté. Les personnes qui vivent dans la pauvreté extrême doivent souvent se procurer leurs moyens de subsistance au détriment de la biodiversité, parfois en allant illégalement dans des aires protégées pour cueillir, chasser, pêcher, couper du bois et même pratiquer l'agriculture de subsistance. En offrant aux populations les plus démunies des moyens d'existence, un accès à l'eau potable (ODD 6) et une éducation (ODD 4), on peut leur donner les moyens de s'assurer une alimentation suffisante (ODD 2) et de prendre soin de leur santé (ODD 3). L'accès à l'énergie (ODD 7) est indispensable pour leur permettre, entre autres choses, de s'inscrire dans un processus de consommation et de production durables (ODD 12).

Dans l'ODD 2, « Faim "zéro" », la cible 2.4 est particulièrement intéressante :

D'ici à 2030, assurer la viabilité des systèmes de production alimentaire et mettre en œuvre des pratiques agricoles résilientes qui permettent d'accroître la productivité et la production, contribuent à la préservation des écosystèmes, renforcent la capacité d'adaptation aux changements climatiques, aux phénomènes météorologiques extrêmes, à la sécheresse, aux inondations et à d'autres catastrophes et améliorent progressivement la qualité des terres et des sols.

De telles pratiques, par exemple l'agriculture biologique et l'agriculture raisonnée, permettent de favoriser la biodiversité en préservant les sols, en utilisant moins d'engrais minéraux et de pesticides. On pense notamment à la microfaune des sols, petits arthropodes et vers minuscules, aux invertébrés qui peuplent les cours d'eau et surtout aux insectes pollinisateurs et aux oiseaux : ces organismes sont les plus affectés par l'agriculture conventionnelle.

La cible 2.5 vise quant à elle spécifiquement la biodiversité :

D'ici à 2020, préserver la diversité génétique des semences, des cultures et des animaux d'élevage ou domestiqués et des espèces sauvages apparentées, y compris au moyen de banques de semences et de plantes bien gérées et diversifiées aux niveaux national, régional et international, et favoriser l'accès aux avantages que présentent l'utilisation des ressources génétiques et du savoir traditionnel associé ainsi que le partage juste et équitable de ces avantages, comme convenu à l'échelle internationale.

En reconnaissant explicitement l'importance des variétés végétales et animales qui ont été développées par les agriculteurs à travers les siècles et en valorisant le réservoir génétique que constituent les espèces sauvages, on peut augmenter la

résilience de l'agriculture. En faisant appel à un juste retour des avantages économiques tirés d'une connaissance traditionnelle de la biodiversité, on peut aussi inciter les agriculteurs à préserver la biodiversité ou à l'exploiter de façon durable.

Une population humaine en santé peut-elle contribuer mieux à la conservation de la biodiversité ? Dans l'ODD 3, « Bonne santé et bien-être », la synergie avec la protection de la biodiversité est moins évidente. On peut même relever certaines contradictions qui impliqueront des aménagements. C'est par le biais des saines habitudes de vie que la principale synergie peut être trouvée. Manger mieux, des produits de l'agriculture biologique, par exemple, peut contribuer à la conservation de la biodiversité. Manger moins de viande réduit la pression sur les territoires qu'il faut cultiver pour produire les céréales nécessaires aux animaux d'élevage. Le choix de poissons certifiés de pêcheries durables peut, jusqu'à un certain point, avoir un impact positif sur la biodiversité. Intégrer la biodiversité dans les zones de peuplement humain peut aussi contribuer au maintien de la santé. Des arbres dans les villes, des aménagements paysagers mettant en valeur des plantes qui attirent les pollinisateurs, des mangeoires pour les oiseaux sont des éléments bénéfiques pour la santé psychologique. Enfin, le choix du transport actif, à pied ou à vélo, contribue à la santé, à l'amélioration de la qualité de l'air et permet d'apprécier la présence de la nature en ville.

En revanche, certains éléments de la biodiversité peuvent avoir des impacts sur la santé humaine. C'est le cas, par exemple, des moustiques qui transmettent la malaria et la fièvre du Nil occidental, des tiques qui portent la maladie de Lyme, d'animaux sauvages qui sont des vecteurs de la rage. Le système de santé doit alors intervenir pour organiser le dépis-

tage, la veille stratégique, le développement de vaccins et de médicaments, souvent eux-mêmes issus de la biodiversité.

L'ODD 4 traite d'éducation. Bien qu'aucune cible ne concerne explicitement la biodiversité, la cible 4.7 met l'accent sur les apprentissages nécessaires pour promouvoir le développement durable, dont l'éducation relative à l'environnement et à la biodiversité sont des composantes de base. À tous les niveaux, les programmes scolaires peuvent intégrer des activités destinées à mieux connaître et protéger la biodiversité.

Comment l'égalité des sexes peut-elle contribuer au maintien de la biodiversité ? L'ODD 5 ne l'indique pas explicitement, mais il souhaite que « chacun puisse exercer ses droits en matière de procréation ». Par la maîtrise de la fertilité, l'objectif d'égalité des sexes diminue indirectement la pression humaine sur la biodiversité. Il contribue à réduire la pauvreté, mais aussi et surtout à donner aux femmes un accès à l'éducation et à des moyens de valorisation sociale autres que la maternité. Dans toutes les sociétés qui accèdent à l'égalité des droits et des opportunités, on observe une réduction du nombre d'enfants par femme. En effet, la scolarisation pousse les femmes à retarder leur première grossesse, tandis que la contraception et le travail hors du foyer permettent d'espacer les naissances.

L'ODD 6, qui préconise l'accès à l'eau potable et à des installations sanitaires, contribue surtout à la protection des écosystèmes aquatiques contre la pollution liée aux rejets d'eaux usées non traitées. De manière indirecte, pour protéger les sources d'eau potable – bassins versants des lacs, bords des rivières, zones de captage des nappes souterraines –, le plus simple est de conserver les écosystèmes, notamment le couvert forestier. Ces espaces boisés, souvent de grande envergure, constituent un habitat qui permet à de nombreuses espèces de prospérer.

L'ODD 7 comporte trois cibles liées à l'énergie, dont il faut mesurer l'impact potentiellement négatif sur la biodiversité. La première cible vise à fournir à tous l'accès à des sources d'énergie modernes, fiables et abordables. La deuxième vise à augmenter significativement la proportion d'énergie de sources renouvelables. La troisième préconise de multiplier par deux l'efficacité énergétique des appareils. Bien sûr, l'approvisionnement en énergie permet de lutter contre la pauvreté et de favoriser l'éducation et la santé. Mais, dans l'état actuel des choses, où 80% de l'énergie primaire dans le monde provient des carburants fossiles, les impacts combinés de l'extraction, du transport, de la transformation et de la combustion des carburants fossiles font peser sur les écosystèmes une charge préjudiciable à la biodiversité. Par la suite, l'accumulation des GES dans l'atmosphère contribue largement au réchauffement climatique et exacerbe ses effets sur la biodiversité.

En augmentant la proportion d'énergie de sources renouvelables dans l'offre énergétique, on peut réduire la contribution du secteur énergétique aux changements climatiques, mais certaines précautions doivent être prises. En effet, les installations qui produisent de l'énergie renouvelable peuvent, elles aussi, avoir des impacts sur les écosystèmes : détournements de rivières et inondations de territoires pour créer les réservoirs des barrages hydroélectriques, parcs d'éoliennes qui peuvent nuire aux populations d'oiseaux et de chauves-souris, centrales thermiques brûlant une biomasse parfois issue de pratiques forestières non durables, etc. Les études d'impact sur l'environnement permettent toutefois de prévoir et d'atténuer les inconvénients de ces types d'installations.

L'augmentation de l'efficacité énergétique, de son côté, est plus difficile à relier à la biodiversité en ce qu'elle ne permet

généralement que de réduire la vitesse d'augmentation de la demande. Mais elle demeure en soi une bonne pratique pour réduire la pression sur les ressources et le territoire. Pour bien des populations très pauvres, le bois est la seule source d'énergie disponible, ce qui entraîne la déforestation dans les zones semi-arides. Dans ce cas, il faut faire un compromis entre l'usage efficace de carburants fossiles pour préserver la ressource forestière et l'impact de ce type de carburants sur les changements climatiques. À court terme, des appareils utilisant le bois de manière plus efficace peuvent aussi réduire la pression sur les écosystèmes, pour autant que ce gain ne soit pas annulé par une augmentation de la population.

L'ODD 8 concerne la croissance économique, mais sa quatrième cible exhorte directement à dissocier la croissance économique de la dégradation de l'environnement :

Améliorer progressivement, jusqu'en 2030, l'efficacité de l'utilisation des ressources mondiales dans les modes de consommation de production et s'attacher à dissocier croissance économique et dégradation de l'environnement [...], les pays développés montrant l'exemple en la matière.

En cherchant à utiliser plus efficacement les richesses planétaires, on satisfait plus de besoins humains avec un impact moindre sur l'extraction des ressources et la production des déchets. Ainsi, le concept d'économie circulaire, qui vise à repenser la production et à optimiser la consommation, notamment avec des biens plus durables et recyclables, a des impacts positifs sur la biodiversité.

La quatrième cible de l'ODD 9 va dans le même sens :

D'ici à 2030, moderniser l'infrastructure et adapter les industries afin de les rendre durables, par une utilisation plus rationnelle des ressources et un recours accru aux technologies et procédés industriels propres et respectueux de l'environnement, chaque pays agissant dans la mesure de ses moyens.

Quant à l'ODD 10, qui vise à réduire les inégalités, c'est par le biais de la réduction de la pauvreté qu'il pourra avoir un effet positif sur la biodiversité.

Dans un monde où la population urbaine, qui a grimpé de 25% en 1950 à 50% en 2008, devrait atteindre 75% en 2050 et 92% en 2100, l'ODD 11, qui porte sur les villes, prend toute son importance. Comment une humanité vivant presque totalement dans un environnement artificialisé pourrait-elle faire une place à la biodiversité? Là encore, les synergies peuvent agir directement ou indirectement.

D'abord, la densification de l'habitat urbain permet d'occuper moins d'espace écologiquement productif, à condition que les prolongements de la ville, comme les autoroutes, les aéroports, les zones industrielles et les centres commerciaux, soient limités. Mais il faut aussi des villes plus efficaces, qui produisent moins de déchets. D'ailleurs la sixième cible de l'ODD 11 traite directement de cette question :

D'ici à 2030, réduire l'impact environnemental négatif des villes par habitant, y compris en accordant une attention particulière à la qualité de l'air et à la gestion, notamment municipale, des déchets.

La ville, si elle est correctement aménagée, peut aussi offrir un terrain propice au maintien de la biodiversité. Grâce à l'agriculture urbaine et aux espaces verts, spécialement s'ils sont interconnectés, de nombreux habitats sont

créés qui permettent à la flore et à la faune de cohabiter avec les humains.

L'ODD 12 traite des modes de production et de consommation durables. Il va dans le sens d'une réduction des pressions que les besoins humains font peser sur les espaces naturels en préconisant une plus grande efficacité dans l'usage des ressources, la réduction des impacts environnementaux tout au long du cycle de vie des produits, l'élaboration d'une économie circulaire (réduction, durabilité, réutilisation, recyclage) et de partage.

L'ODD 13 vise l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à leurs effets. Comme nous l'avons vu à la section précédente, le réchauffement climatique est l'une des pressions les plus grandes que l'activité humaine fait peser sur la biodiversité. Dans toutes les décisions politiques, il importe que des mesures soient prises pour réduire les émissions de GES, augmenter les puits de carbone, tels que les tourbières, les forêts et les océans qui absorbent le CO₂ dans l'atmosphère, et diminuer la consommation de viande. Ces mesures auront des impacts directs sur la biodiversité. D'abord par la réduction des impacts de l'exploitation des carburants fossiles en amont. Ensuite, en aval, par l'arrêt de la déforestation, la reforestation, la protection des sols et enfin la réduction des surfaces agricoles nécessaires pour alimenter l'humanité.

Les ODD 14 et 15 sont ceux qui protègent le plus directement la biodiversité. Le premier en milieu marin, le second sur les terres émergées. Les cibles de l'ODD 14 visent à réduire toutes les formes de pollution affectant les océans. On pense ici aux rejets industriels et urbains, mais aussi aux plastiques et autres déchets qui peuvent altérer la qualité de l'habitat des poissons. On parle aussi d'éliminer la surpêche et de créer

des aires marines protégées. La lutte contre l'acidification des océans passe, quant à elle, par la lutte contre les changements climatiques, notamment la suppression de sources de CO₂. Les cibles de l'ODD 15 concerne aussi bien la protection, la restauration et l'usage durable des forêts, la lutte contre la désertification, la protection des écosystèmes de montagne et des eaux douces. Sa cinquième cible vise à protéger les espèces menacées, alors que la septième s'attaque au braconnage et la huitième à l'introduction d'espèces envahissantes.

L'ODD 16 est indirectement en synergie avec la protection de la biodiversité. En faisant la promotion de la paix et de la justice, la mise en œuvre de cet objectif permettra d'éviter des conflits armés dont les effets sur le territoire sont souvent dévastateurs. Pensons, par exemple, à l'utilisation d'explosifs et d'armes chimiques, qui peuvent contaminer les sols pendant des décennies après un conflit, comme les liquides défoliants aspergés par les Américains pour dégarnir les forêts et les cultures au Vietnam et, plus récemment, pour lutter contre les producteurs de cocaïne en Amérique du Sud. Plus largement, il faut considérer les populations déplacées qui doivent satisfaire leurs besoins, souvent au détriment de l'écosystème des lieux où elles se réfugient.

Finalement, l'ODD 17 chapeaute la mise en œuvre des engagements des pays en matière de coopération et de partenariats pour le développement durable. Bien entendu, il inclut les promesses faites pour renforcer, dans les conventions internationales, la capacité de protéger la biodiversité à l'échelle mondiale, nationale et régionale, même si cela ne figure pas explicitement dans le libellé de ses cibles.

La croissance démographique et le développement accéléré de l'humanité au cours des 10 dernières générations de son histoire ont engendré des pressions excessives sur la biodiversité à l'échelle planétaire. À un point tel qu'on parle d'une possible sixième extinction de masse. Outre les impacts directs du prélèvement de plantes et d'animaux sauvages, de la détérioration des habitats par l'urbanisation et les infrastructures humaines, la transformation des terres agricoles et les rejets de substances toxiques dans l'environnement ont fortement réduit les effectifs de nombreuses espèces. Les changements climatiques induits par l'activité humaine viennent exacerber ces pressions. Mais l'humanité elle-même pourrait-elle survivre à une extinction massive qu'elle aurait provoquée? Rien n'est moins certain.

Le programme de l'Agenda 2030 du développement durable peut paraître complexe et ambitieux, voire utopiste. Pourtant, nous n'avons pas le choix. La perte de biodiversité à laquelle nous a conduits le développement humain jusqu'à maintenant ne peut continuer à s'accélérer sans nous priver irrémédiablement de tous les éléments et services indispensables que nous fournit le fonctionnement des écosystèmes à l'échelle locale et mondiale.

La conservation de la biodiversité relève d'abord d'une question éthique. Nous devons la préserver pour le bénéfice des générations futures. Comme l'humain ne peut synthétiser lui-même la matière organique dont il se nourrit, il dépend pour sa survie des autres organismes vivants. Cette dépendance nous oblige à préserver les espèces utiles pour notre propre bénéfice. Plus largement, nous devons prendre les mesures de conservation de toutes les espèces par solidarité avec le vivant. Mais cela ne peut se faire dans un contexte de précarité et d'inégalités entre les humains. Le maintien de la biodiversité dépend donc du développement durable de l'humanité.

Une chose est certaine, la conservation de la biodiversité ne peut plus se limiter aux aires protégées. Il faut que, dans les activités humaines susceptibles de modifier l'environnement (agriculture, foresterie, mines, urbanisation, transports, production d'énergie, aménagement du territoire), des dispositions soient prises pour intégrer la reconnaissance, le suivi et la valorisation de la biodiversité. Sinon, nous continuerons de compter les victimes de la sixième extinction de masse.

Une espèce qui a vécu 10 000 générations en symbiose avec la biodiversité pourrait-elle avoir perdu cette capacité dans le simple intervalle de 10 générations qu'a duré l'âge industriel? Ce serait étonnant. Le développement durable et la lutte contre les changements climatiques sont une adaptation nécessaire à un nouvel équilibre entre les humains et la nature. Nous sommes collectivement capables de relever ce défi pour que d'autres générations nous succèdent en harmonie avec la biodiversité. Dorénavant et pour toujours, humanité et biodiversité devront vivre une communauté de destins.

L'agriculture devrait être la première activité de santé.
Le paysan doit précéder le médecin.

Pierre Rabhi

La nature humaine ne fleurira pas, pas plus
que la pomme de terre, si on la plante et la replante durant
des générations dans le même sol qui s'épuise.

Nathaniel Hawthorne



Duale – Mycorrhizae (détail)
par Étienne Saint-Amant et Éric Dupont

