



I. La notion de biodiversité

On attribue à Edward O. Wilson, célèbre biologiste américain, l'invention du mot « biodiversité ». En réalité, en 1986, le compte rendu du premier forum américain sur la diversité biologique prit pour titre *Biodiversity*, contraction de *Biological diversity*, contre l'avis de Wilson. Ce dernier publia néanmoins les actes de cette rencontre dans un ouvrage qui rencontra un grand succès et contribua à populariser ce terme. L'équivalent français, biodiversité, entra dans le dictionnaire à la même époque. L'Article 2 de la Convention sur la diversité biologique de 1992 en donne la définition suivante :

« Variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes ».

1. La biosphère : une diversité considérable

On comprend ainsi que cette notion recouvre l'immense variété du vivant, dans l'espace et dans le temps, c'est-à-dire finalement celle de la biosphère. Le constat de cette diversité est ancien puisqu'Aristote écrivit vers 343 avant notre ère une « Histoire des animaux », une des premières tentatives de description et de classement des êtres vivants qui d'ailleurs sous-estimait les plantes, décrites de manière très générale. Au début de notre ère, Pline l'Ancien s'inspira largement de l'œuvre d'Aristote pour écrire son « Histoire naturelle » en 37 volumes. Son ambition était de décrire l'ensemble du monde connu, pas seulement le vivant. À la fin du XVII^{ème} siècle, le naturaliste anglais John Ray décrivit 6 000 espèces de plantes dans son « *Historia plantarum* » et estima le nombre d'espèces d'insectes à 10 ou 20 000.

2. Seul un petit nombre des espèces vivantes a été identifié

Aujourd'hui, 1 800 000 espèces différentes ont été identifiées et nommées, dont environ 1 million d'espèces d'insectes et on en identifie quelque 16 000 nouvelles chaque année. Simplement en Europe, ce sont environ 600 nouvelles espèces que l'on décrit chaque année depuis le début du XX^{ème} siècle. Mais on suppose que la biodiversité est bien plus élevée encore puisque le nombre réel d'espèces vivantes pourrait être au moins cinq à dix fois plus important. On peut noter, en outre, que le nombre d'espèces vivantes qui ont été présentes à un moment ou à un autre sur notre planète et la variété des écosystèmes qu'elles ont occupé est d'un ordre de grandeur bien supérieur puisqu'au cours des temps géologiques de nouvelles espèces sont apparues, se sont répandues dans l'environnement, puis ont disparu. L'origine de la vie sur Terre remontant à environ 3,5 milliards d'années, ce nombre doit être considérable. On estime que le nombre d'espèces différentes actuelles représente au maximum 1 % de celles ayant existé depuis l'origine de la vie.

II. La notion d'espèce

Dès 1809, Lamarck remarquait dans sa « Philosophie zoologique » que, plus l'inventaire des formes vivantes progresse et « ...plus notre embarras s'accroît pour déterminer ce qui doit être regardé comme espèce ».

La notion d'espèce peut être débattue des heures en raison de la multitude de définitions que possède la littérature à son sujet et de la quantité de contre-exemple qui rendent chacune d'entre elles floue. Et pour cause : l'espèce est un concept totalement humain pour permettre de "parler de ce qu'on observe dans la nature", alors que cette dernière ne possède pas de "boîtes" aussi nettes.

1. La définition biologique de l'espèce

Classiquement, on utilise surtout le "concept biologique" d'espèce (énoncé par Ernst Mayr dans les années 40). Pour faire simple, une espèce rassemble tous les individus capables de se reproduire entre eux et dont les descendants sont également féconds. Par exemple : une grenouille rousse (*Rana temporaria*) peut faire des petits avec une autre grenouille rousse, un crapaud (*Bufo bufo*) peut faire des petits avec un autre crapaud... mais une grenouille rousse ne peut pas faire de petits avec un crapaud. Ces deux espèces possèdent des caractères en commun qui permettent de les rassembler (avec d'autres) dans un groupe plus grand : l'ordre des Anoures... et encore avec d'autres dans la classe des amphibiens (Lissamphibia = Amphibia) autrefois appelés Batraciens.

Le vivant est une continuité, et si des barrières reproductives (c'est à dire d'inaptitude à mélanger les gènes) existent en effet très souvent entre les "espèces" que nous définissons, nommons et remanions selon les critères qui semblent pertinents, de nombreux cas d'hybridation existent (dont le « tigrion », moitié tigre et moitié lion, que les enfants citent souvent).

Tout est une question d'échelle. Si l'on s'intéresse à deux espèces très éloignées l'une de l'autre, par exemple le lion et la grenouille, l'inaptitude à faire des petits est évidente et ne connaît pas d'exception. Dès qu'on s'intéresse à des espèces proches, voire très proches, on découvre les subtilités de l'affaire. Les hybridations sont possibles, donnent parfois même des petits féconds... Parfois, la seule barrière qui empêche la reproduction de deux "espèces" est purement comportementale : elles pourraient théoriquement et biologiquement se reproduire ensemble (on peut faire des fécondations in-vitro), mais elles ont simplement cessé d'en faire acte dans la nature, même si elles vivent au même endroit...

Pour la comparaison, entre le lion et la grenouille, il y a la distance Paris-Pékin. On est incontestablement à deux endroits différents. En revanche, entre la grenouille rieuse (*Rana ridibunda*) et la grenouille de Lessona (*Rana Lessonae*), il y a une enjambée seulement. Sommes-nous encore au même endroit, ou pas ? La nature a une réponse : "oui et non". Oui, parce que des différences évidentes existent entre ces deux espèces. Non, parce que leur hybridation est possible, a lieu sans arrêt et donne naissance à des grenouilles que nous nommons encore sous le nom de *Rana esculenta*, la grenouille verte commune d'Europe, qui est elle même féconde... (et peut se reproduire avec les deux espèces dont elle est l'hybride).

2. les autres concepts d'espèce

Bon nombre d'autres définitions existent quant à ce qu'est une espèce.

Le "concept morphologique" d'espèce (on rassemble "ce qui se ressemble") cher à Cuvier ("une espèce rassemble tous les individus qui se ressemblent autant entre eux qu'ils ressemblent à leurs parents") est connu pour être trompeur, notamment pour les phénomènes de "convergence", à savoir de ressemblance entre espèces (parfois aussi éloignées qu'un papillon et un colibri) liées au mode de vie, à l'environnement.

D'autres concepts existent, notamment sur des critères écologiques et (depuis vingt ans) génétiques (et il ne faut pas croire que ça règle les problèmes !).

Dans tous les cas, il faut se rappeler que les espèces sont avant tout des concepts de langage, même si les scientifiques qui les font (et refont), les taxonomistes, s'efforcent de choisir les critères les plus pertinents possibles pour les rendre représentative de réalités biologiques.

Avec les élèves ?

Les enfants ont une intuition farouche des contradictions du concept d'espèce. Plus que les adultes qui sont très formés à "essayer de donner systématiquement du sens" à ce qu'ils pensent être des faits établis. En fonction de la classe, il faut voir jusqu'où on peut mener le débat, mais il est très possible de discuter de ça pour peu d'en prendre le temps...

3. Et la notion de "race" ?

A l'intérieur d'une espèce, on observe une diversité morphologique entre les individus (qui peuvent se reproduire entre eux, rappelons-le). Une "sous-espèce" consiste en un groupe d'individus qui se trouvent isolés (géographiquement, en général) pendant un temps du reste de l'espèce et prennent des caractéristiques morphologiques propres. Si l'isolement dure assez longtemps pour que les différences continuent de s'accumuler, il y a "spéciation", à savoir séparation des espèces qui finiront par être trop différentes, génétiquement, pour se reproduire. Au contraire si la barrière disparaît, la sous-espèce recommence à se mélanger avec la population d'origine et s'y "dilue" parfois, à long terme.

Le terme de "race" est fondamentalement synonyme de "sous-espèce", mais il s'applique aux espèces animales domestiquées par l'Homme (pour leur élevage et leur commerce). Pour les végétaux, on parle de "variétés" dans le même cas de figure.

La science rechigne à parler de sous-espèces concernant l'être humain, pour des raisons éthiques. Même si cette notion purement biologique ne remet pas en cause l'égalité des Hommes, les dérives idéologiques existent et ont donné lieu à un débat qui foisonne encore. Notre espèce a connu les mêmes aléas que les autres : des mélanges, des séparations géographiques, des différenciations morphologiques... et des re-mélanges. La génétique des populations distingue 7 "groupes" génétiques au sein d'*Homo sapiens*. Le reste est une affaire de linguistique et d'éthique.

Avec les élèves ?

Parler de "race", c'est parler de sous-espèce... mais avec un vocabulaire dénigrant car associé à celui des animaux domestiques. Le mot "race" naît dans la bouche des enfants bien avant le mot "espèce", justement parce qu'il fait partie du quotidien et de l'élevage des animaux qu'ils connaissent. A la question "pourquoi ces deux grenouilles rousses peuvent-elles se reproduire

ensemble", nous avons obtenu massivement en CE2 la réponse "parce qu'elles sont de la même race". Je pense qu'il ira de même dans beaucoup (la plupart ?) des classes qui mettront en place le module.

J'y vois une occasion d'engager une discussion rapide autour de ce terme en utilisant l'exemple des chiens que les enfants connaissent bien. Ils savent tous que les "races" de chiens peuvent "se mélanger". C'est l'occasion de parler du groupe "chien" dans son ensemble et de faire prononcer le mot "espèce" que les enfants connaissent, même s'il ne leur vient pas forcément en premier. La race leur apparaît alors naturellement comme une subdivision de l'espèce.

Sur le principe de "peut faire des petits avec", les élèves n'ont aucun mal à considérer les Hommes comme appartenant à la même espèce. A la question des "races humaines", si elle est posée, l'enseignant sera libre d'entrer ou non dans le débat à la lumière de ces éclairages. Il peut, quoi qu'il arrive, insister sur le fait que ce mot ne s'applique qu'aux espèces d'animaux domestiques et qu'il est - dès lors - inapproprié pour parler des gens.

4. La nomenclature binominale

Même si la définition du concept d'espèce a changé au cours du temps, on a conservé la nomenclature linnéenne dite « binominale ». Dans ce système, chaque être vivant est désigné par deux noms latins qu'il est d'usage d'écrire en italiques : un nom de genre, commençant par une majuscule, et un nom d'espèce, commençant par une minuscule. Par exemple, le nom scientifique du chat domestique est *Felis catus*, celui du lombric, un ver de terre, *Lumbricus terrestris*. Le genre regroupe les espèces ayant la relation de parenté la plus proche, c'est-à-dire celles qui descendent de l'ancêtre commun le plus récent, alors que, par le passé, les regroupements étaient établis sur la base de ressemblances morphologiques. On sait aujourd'hui, non seulement que des organismes ayant la même apparence peuvent appartenir à des espèces différentes, ce que peut démontrer la génétique, mais aussi, qu'au sein d'une même espèce, la variabilité génétique peut être importante. Il est important que, dès l'école primaire, la notion d'espèce soit fondée sur le critère de descendance et d'interfécondité et non sur le critère de ressemblance qui n'est pas pertinent (dimorphisme sexuel, larves et adultes, etc.). Pour appréhender les questions liées à la biodiversité, la notion d'espèce est capitale : identifier des espèces protégées, des régimes alimentaires, élaborer des réseaux trophiques, comprendre la place de l'homme dans la nature, la nécessité de freiner l'érosion de la biodiversité, celle de protéger les espaces naturels ou encore savoir déjouer les pièges des raccourcis médiatiques, nécessitent d'avoir assimilé cette notion.

Des confusions linguistiques

Il importe aussi de préciser que le nom courant des animaux, en français, ne désigne que rarement une seule espèce. Ainsi les noms « grenouille », « crapaud », « hirondelle », « ver de terre », etc., correspondent respectivement à plusieurs espèces différentes. Il faut également noter que le genre masculin ou féminin des noms courants d'animaux peut induire parfois des idées fausses, telles que « la grenouille est la femelle du crapaud » ou « le hibou est le mâle de la chouette ». En réalité, il existe des mâles et des femelles dans chaque espèce de grenouille, de crapaud, de hibou, de chouette, etc.

III. La biosphère est organisée en écosystèmes

Les espèces vivantes ont colonisé la plupart des milieux de la planète, y compris ceux qui semblent les plus hostiles, comme les déserts, les sources d'eau très chaudes ou les eaux extrêmement salées. Pour survivre et perpétuer l'espèce, chaque être vivant dépend d'une multitude d'interactions établies avec d'autres êtres vivants ainsi qu'avec son environnement inanimé, qu'il s'agisse du sol, de l'eau, de la lumière, du climat, etc. Pour qualifier la science qui étudie les relations entre les êtres vivants et leur environnement, le biologiste allemand, Ernst Haeckel (1834-1919), a forgé en 1866 le terme d'écologie à partir des racines grecques, *oikos* (maison, habitat) et *logos* (discours).

1. Qu'est-ce qu'un écosystème ?

L'écologie étudie les interactions entre les organismes et les différents facteurs environnementaux, tant abiotiques, c'est-à-dire non vivants (température, eau, lumière, sol, etc.), que biotiques, c'est-à-dire liés aux autres êtres vivants. L'ensemble des êtres vivants d'un milieu donné constitue avec lui un ensemble fonctionnel dont les différents constituants, êtres vivants et facteurs abiotiques interagissent ; pour qualifier cet ensemble, le botaniste anglais Arthur Tansley a proposé en 1935 le terme d'écosystème qui correspond à l'unité écologique de base. Pour qualifier un milieu et les conditions qui le caractérisent, Tansley a également inventé le terme de biotope. Enfin, l'ensemble des êtres vivants qui peuplent un biotope donné est appelé biocénose. On peut ainsi écrire :

$$\text{écosystème} = \text{biotope} + \text{biocénose}$$

On peut distinguer une multitude d'écosystèmes, par exemple, prairie, forêt, récif corallien, ruisseau, écosystème cultivé (agroécosystème), écosystème urbain, etc., chacun étant caractérisé par un ensemble de facteurs abiotiques et d'êtres vivants qui lui est propre.

2. Les écosystèmes, une réalité mouvante

Le simple mot d'écosystème recouvre des réalités complexes et extrêmement variées. D'une part, les limites géographiques d'un écosystème sont parfois difficiles à tracer et elles peuvent aussi varier dans le temps. D'autre part, un écosystème donné fait souvent partie d'un ensemble plus vaste comportant plusieurs écosystèmes différents, qualifié de complexe écologique. En outre, en dehors des variations liées aux saisons, les écosystèmes peuvent être affectés par diverses fluctuations temporelles (hauteur d'eau liée aux marées, cours d'eau et mares temporaires, inondation, sécheresse, tempête, etc.) qui modifient la répartition des êtres vivants. Enfin, si les écosystèmes évoluent au cours du temps jusqu'à atteindre un état d'équilibre appelé « climax », ce dernier peut aisément être rompu si le fonctionnement de l'écosystème est perturbé, en particulier par les activités humaines.

Les êtres vivants entretiennent des relations complexes avec leur milieu : l'environnement agit sur les êtres vivants, mais ces derniers ont également une action sur leur milieu. Ainsi, par exemple, depuis l'apparition de la vie sur Terre il y a quelque 3,5 milliards d'années, l'activité biologique des êtres vivants (photosynthèse, fermentations, respiration) a profondément modifié l'atmosphère primitive de la planète, notamment en l'enrichissant progressivement en oxygène gazeux et a contribué à la formation des sols. En outre, la libération dans l'atmosphère de grandes quantités de gaz à effet de serre (principalement dioxyde de carbone et méthane) issus des activités humaines depuis les débuts de l'ère industrielle semble exercer une influence déterminante sur l'évolution du climat.

3. Les écosystèmes dépendent d'une seule source d'énergie, la lumière du Soleil

Les écosystèmes sont caractérisés notamment par leurs réseaux trophiques, c'est-à-dire par les réseaux complexes de relations alimentaires établies entre les êtres vivants. Ces réseaux sont traversés par un flux de matière, chaque espèce pouvant servir de nourriture à une ou plusieurs autres espèces. En dehors de quelques cas très particuliers et extrêmement minoritaires, comme les sources hydrothermales du fond des océans, tous les écosystèmes dépendent fondamentalement d'une même source d'énergie, la lumière du Soleil, car c'est la photosynthèse qui est à l'origine de la matière organique circulant d'un organisme à l'autre. La photosynthèse, réalisée exclusivement par les organismes chlorophylliens (plantes, algues, phytoplancton), utilise l'énergie lumineuse émise par le Soleil pour produire de l'énergie chimique sous forme de matière organique à partir du gaz carbonique et de l'eau. Cette matière organique est la seule source de matériaux et d'énergie qui alimente les écosystèmes.

4. Autotrophie et hétérotrophie

Parce qu'ils sont capables de produire leur matière organique à partir de précurseurs d'origine minérale, les organismes chlorophylliens sont qualifiés d'autotrophes (du grec *autos*, soi-même et *trophê*, nourriture). Comme ils sont à l'origine de la matière organique qui circule dans les écosystèmes, on les qualifie également de producteurs primaires. Tous les autres êtres vivants sont des hétérotrophes (du grec *heteros*, autre et *trophê*, nourriture) et sont qualifiés de consommateurs. Ils élaborent néanmoins eux aussi de la matière organique qui peut servir de nourriture à d'autres consommateurs, ce qui conduit à les considérer également comme des producteurs. Il s'agit de producteurs secondaires lorsqu'ils se nourrissent de producteurs primaires, de producteurs tertiaires s'ils se nourrissent de producteurs secondaires, etc. Enfin, certains microorganismes permettent le recyclage de la matière organique en transformant les déchets ou les cadavres en matières minérales et sont donc qualifiés de décomposeurs. Cependant, les relations contractées entre les espèces d'un écosystème ne sont pas uniquement de nature alimentaire. Il existe également des relations concernant la protection, le transport ou la reproduction. Ainsi, la pollinisation de la majorité des plantes à fleurs dépend du transport du pollen réalisé par des insectes.

5. Les cycles biogéochimiques

Les substances résultant de la minéralisation de la matière organique, comme le dioxyde de carbone, les nitrates ou l'ammoniaque, sont recyclées lorsqu'elles sont absorbées par les végétaux chlorophylliens, producteurs primaires. Le carbone, comme les autres éléments chimiques constituant la matière organique, circule à travers les écosystèmes sous forme de combinaisons moléculaires variées (gaz carbonique, sucres, protéines, etc.) dont les transformations chimiques le conduisent à passer d'un réservoir à un autre : ainsi, le carbone engagé dans le gaz carbonique du réservoir « atmosphère » passe dans le réservoir « biosphère » lorsqu'il est utilisé par la photosynthèse pour produire de la matière organique. En circulant entre ces réservoirs, les différents éléments chimiques subissent un recyclage permanent qualifié de cycle biogéochimique.

La masse de matière vivante porte le nom de biomasse, mais il faut également prendre en compte la masse de matière organique morte dont le rôle est important. La biomasse varie dans de larges limites selon les écosystèmes, essentiellement en fonction des conditions du biotope. On l'évalue ainsi de quelque 20 tonnes par hectare (t/ha) dans les déserts à quelque 500 t/ha dans les forêts équatoriales. Dans un écosystème en équilibre, la biomasse des trois catégories d'organismes, producteurs primaires, consommateurs et décomposeurs, reste sensiblement constante au cours du temps.

6. La notion de niche écologique

Dans un écosystème, chaque espèce vivante a une place et un rôle déterminés. Elle y trouve notamment ses ressources alimentaires et son habitat, a son propre rythme d'activité et entretient des relations variées avec d'autres espèces de l'écosystème. On parle de niche écologique pour qualifier la place et le rôle uniques d'une espèce donnée dans un écosystème. Deux espèces différentes ne peuvent occuper une même niche écologique : lorsque deux espèces entrent en compétition pour une même niche, l'une des deux finit par en être éliminée. C'est pourquoi l'introduction dans un écosystème d'espèces étrangères est à proscrire : lorsqu'elles entrent en compétition avec des espèces locales occupant la même niche écologique, ces dernières risquent d'être éliminées. Ainsi, l'introduction en France de l'écrevisse américaine a conduit à la quasi disparition des espèces autochtones. De la même façon, les tortues de Floride relâchées dans la nature entrent en compétition avec la cistude, une tortue aquatique d'Europe, dont l'espèce est désormais menacée de disparition.

IV. La biodiversité résulte de l'évolution

La notion scientifique d'évolution est l'une des notions les plus fondamentales de la science moderne et la théorie de l'évolution est si féconde qu'elle permet d'expliquer la plupart des caractéristiques du monde vivant :

- elle rend intelligible l'histoire de la vie, que l'on peut décrypter notamment à travers les archives que constituent les fossiles, mais aussi par l'analyse génétique ;
- elle explique pourquoi le vivant se caractérise à la fois par une profonde unité, notamment biochimique, génétique et physiologique, et par une extraordinaire diversité, puisque l'on a décrit près de 2 millions d'espèces actuelles différentes ;
- elle rend compte de la répartition géographique des organismes, tant à notre époque que dans le passé.

1. L'évolution biologique est étayée par un faisceau d'indices convergents

On dispose aujourd'hui de preuves scientifiques issues indépendamment de la géologie, de la paléontologie et de la biologie qui démontrent que la vie a une histoire, longue d'environ 3,8 milliards d'années, et que tous les êtres vivants dérivent d'une origine commune et ont évolué au cours des temps géologiques. Aucune donnée scientifique n'est venue jusqu'ici remettre en cause ces notions fondamentales d'origine commune et d'évolution du vivant et elles ne sont plus contestées aujourd'hui dans le monde scientifique. Cependant, comme pour toute théorie scientifique, différents aspects de l'évolution font encore l'objet de recherches et de discussions ; il en résulte que des précisions, voire des corrections, sont apportées régulièrement par la recherche.

Une des conséquences de l'évolution est que les espèces actuelles sont d'autant plus apparentées entre elles qu'elles ont un ancêtre commun plus récent. C'est pourquoi la classification du vivant est désormais établie sur des bases phylogénétiques, c'est-à-dire qu'elle classe les organismes en fonction de leurs relations de parenté évolutive identifiées par le partage de caractères communs. La notion d'évolution est devenue tellement centrale pour la biologie que Theodosius Dobzhansky, un des grands spécialistes de l'évolution, a pu écrire : « *Rien n'a de sens en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution* ».

2. Tous les êtres vivants actuels descendent d'un ancêtre commun

Les biologistes s'accordent pour regrouper les êtres vivants en trois grands ensembles : les eubactéries (bactéries ordinaires), les archéobactéries ou archées (bactéries archaïques) et les eucaryotes (organismes formés de cellules comportant un véritable noyau). Ces trois ensembles, issus d'un même ancêtre commun appelé LUCA (*Last Universal Common Ancestor*, Dernier ancêtre commun universel), constituent les trois branches de l'arbre généalogique du vivant et tous les êtres vivants, actuels comme disparus, appartiennent à l'une de ces trois branches. Les principaux groupes d'eucaryotes sont les plantes, différents types d'algues, les animaux, les champignons ainsi qu'une multitude d'espèces d'organismes unicellulaires. Les bactéries, les archées et tous les organismes unicellulaires sont invisibles à l'œil nu et sont donc qualifiés de microorganismes, ce qui ne préjuge toutefois en rien de leurs relations de parenté. Malgré leur taille microscopique, ils jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes et on estime qu'ils constituent environ la moitié de la masse totale des êtres vivants, ce qu'il est convenu d'appeler la biomasse.

3. La notion de sélection naturelle

Initialement décrite par Charles Darwin, le phénomène de sélection naturelle est l'un des mécanismes de l'évolution des espèces : il explique l'adaptation des espèces aux milieux de vie au fil des générations.

Le principe, d'après Ernst Mayr :

Les traits (morphologiques, physiologiques, comportementaux...) qui favorisent la survie et la reproduction des organismes voient leur fréquence s'accroître dans la population d'une génération à l'autre. Ceci découle logiquement du fait que les porteurs de ces traits ont plus de descendants (parce qu'ils meurent moins vite, parce qu'ils parviennent mieux à se nourrir...), ces descendants ayant hérité de ces traits (qui sont héréditaires).

Pour mieux comprendre :

❖ Au sein d'une espèce, on trouve une grande **diversité** d'individus, présentant des caractéristiques variées. Ces caractéristiques sont **héritées** des parents : elles se mélangent **au hasard** chez les descendants. Parfois, toujours au hasard, une "mutation" peut apparaître, c'est à dire une caractéristique complètement nouvelle.

❖ Dans un environnement donné, les individus de l'espèce mènent leur existence : ils naissent, se nourrissent, grandissent, se reproduisent et meurent. Plus ils se **reproduiront**, plus ils **transmettront** les caractéristiques qui sont les leurs. Ceux qui vivront plus longtemps pourront se reproduire plus (ils en auront plus le temps !), ceux qui seront plus robustes également (ils en auront plus l'ardeur !).

❖ Dans cet environnement, les individus porteurs de certaines caractéristiques sont **favorisés** par rapport à d'autres car le milieu possède des **contraintes** (que l'on nomme « pressions de sélection »). Les papillons blanc sur des arbres blancs se font moins manger par les oiseaux que les bruns et vivent plus longtemps ; les gazelles au long cou dans une région arbustive peuvent se nourrir plus facilement que celles au cou court et sont en meilleure santé, etc.

❖ Parce qu'ils sont avantagés, ces individus vont mettre moins de temps à mourir (parce qu'ils échappent mieux aux prédateurs, parce qu'ils se nourrissent mieux...) et donc faire **plus de petits**. Ces petits auront hérité de leurs caractéristiques et auront à leur tour un avantage dans cet environnement. Après quelques générations, les caractéristiques avantageuses seront devenues **majoritaires** dans la population. On appelle ces caractéristiques avantageuses des "adaptations". Nous sommes dans un cas de sélection naturelle.

Note : si Darwin est fondateur de cette théorie, elle a été sans cesse affinée depuis par la communauté scientifique (Ernst Mayr, Richard Dawkins...). S'il est très intéressant d'évoquer son nom pour faire de l'histoire des sciences, il n'est pas judicieux de parler de la « théorie de Darwin », pas plus, en tout cas, que de parler de la « théorie de Newton » pour évoquer la gravitation universelle (des siècles de chercheurs s'étant également succédés pour l'enrichir, dont Albert Einstein).

De ce fait :

1 - Une "adaptation" est toujours valable "dans un milieu donné". Si le milieu change, la donne est remise à zéro. Les poumons, par exemple, sont une formidable adaptation dans un milieu aérien. En revanche, ils sont un désavantage certain dans un milieu aquatique.

[Idée reçue n°1] Il n'y a pas de sens à dire qu'une espèce est « mieux adaptée », dans l'absolu. Elle ne peut l'être que : 1/ par rapport à une autre espèce et 2/ « dans un milieu donné ». L'homme est mieux adapté que le poisson dans la forêt. Le poisson est mieux adapté que l'homme dans le lac. La phrase « l'homme est le plus adapté » n'a pas de sens.

2 – Le hasard est fondamental, dans la sélection naturelle. Les caractéristiques disponibles au sein de l'espèce apparaissent (par mutation) et se mélangent (au cours de la reproduction) par le fruit du hasard. Ces caractéristiques préexistent à la situation de sélection : leur variété est présente dans la population avant que l'environnement n'intervienne. Les gazelles au long cou et les gazelles au cou court existent dans l'espèce avant que cette dernière ne rencontre un environnement riche en arbustes et pauvre en herbes.

[Idée reçue n°2] Une espèce ne « s'adapte pas pour » faire face à un changement de l'environnement. Elle possède déjà dans la gamme de caractéristiques disponibles les traits permettant de faire perdurer l'espèce malgré le changement du milieu ; le changement d'environnement change juste la balance en termes de nombre d'individus portant la caractéristique avantageuse (l'adaptation). C'est un phénomène passif, il n'y a pas de volonté de l'espèce de faire front.

3 – Les caractéristiques avantageuses dans le milieu considéré deviennent majoritaires au fil des générations, mais les individus possédant des caractéristiques moins avantageuses existent encore : ils sont juste plus rares. Si l'environnement change, ils deviendront peut-être avantagés à leur tour. La diversité des individus d'une espèce est un réservoir précieux en cas de changements environnementaux.

[Idée reçue n°3] Dans la sélection naturelle, il ne s'agit pas de la « loi du plus fort » qui « élimine les individus les moins adaptés ». Tout est question de « succès reproducteur ». On fait plus de petits parce qu'on est avantagé, on possède des caractéristiques qui deviennent majoritaires dans la population, mais les individus moins avantagés ne « disparaissent » pas, le plus souvent : ils persistent en faible effectif et sont une sécurité face à d'éventuels changements de l'environnement.

4 – Si une espèce se retrouve coupée en deux populations par un événement (le plus souvent géographique, par exemple l'effondrement d'une montagne, la fragmentation d'une forêt, l'ouverture d'un canyon...), les deux populations pourront être soumises à des environnements différents (par exemple un climat froid d'un côté de la montagne et chaud de l'autre côté de la montagne). Dans chacune des deux populations, les caractéristiques avantageuses ne seront pas les mêmes puisque les environnements seront différents. Au fil des générations, les deux populations prendront des chemins différents. D'un côté de la montagne (au froid), les individus à poils long auront fait plus de petits et cette caractéristique sera devenue majoritaire. De l'autre côté (au chaud), le « poil ras » sera majoritaire.

Après un temps long et par le hasard des mutations, les deux populations seront devenues tellement différentes qu'elles ne seront plus capables de se reproduire, même si on les rassemble. On aura eu un phénomène de « spéciation » : l'apparition de deux espèces différentes. C'est l'un des moteurs de « l'évolution ».

[Idée reçue n°4] L'évolution des espèces est en grande partie due aux changements de l'environnement, mais d'autres phénomènes interviennent également, par exemple la « sélection sexuelle » : si les femelles préfèrent les mâles à grandes plumes (chez le paon), ce sont ces derniers qui feront le plus de petits et transmettront le plus leurs caractéristiques (même si elle n'apporte aucun avantage vis-à-vis de l'environnement. Ce serait d'ailleurs l'inverse : ils se déplacent très mal et peinent à fuir les prédateurs). Au fil des générations, les paons mâles auront majoritairement la queue longue.

[Idée reçue n°5] L'évolution n'est pas « orientée » vers le progrès. Comme nous l'avons évoqué, le « progrès » n'a de sens que dans un environnement donné, et l'environnement est toujours en train de changer. La complexité des organismes, elle, s'est globalement accrue au fil du temps. Attention au jugement de valeur : le meilleur programme informatique, par exemple, est celui qui effectue la tâche en un minimum de manœuvres (le moins complexe) ! Depuis l'apparition de la vie, les organismes naissent, grandissent, se reproduisent et meurent (ils effectuent tous « les mêmes tâches »), et peu importe leur niveau de complexité.

5 – Par le jeu des phénomènes successifs de sélection naturelle (entre autres, voir ci-dessus), les espèces se sont diversifiées sur Terre à partir des premiers organismes unicellulaires apparus il y a environ 3,6 milliards d'années.

[Idée reçue n°6] De ce fait, toutes les espèces ont connu le même temps d'évolution : la bactérie, le poulpe, la fougère, l'homme, le platane, le protozoaire, le poisson-clown. Aucune espèce n'est « plus évoluée » qu'une autre, puisque leur temps d'évolution est exactement le même. Le mot « évolué » est souvent mal utilisé. « Evolution » signifie « transformation », il n'y a pas de jugement de valeur dans ce mot. On utilise fréquemment « plus évolué » en voulant dire « ayant plus de valeur » (« on est quand même plus évolués que les limaces ! »). Parfois, on souhaite dire « mieux adapté » en disant « plus évolué », mais l'on oublie de préciser par rapport à quoi et dans quel milieu. De notre langage, dépend notre perception du monde et de la biodiversité. Ne disons pas que « l'Homme est le plus évolué ». Si l'envie nous en prend, disons que « l'Homme est plus adapté au milieu citadin que la limace ». Et puisque l'environnement est toujours en mouvement, ajoutons : « pour l'instant ».

3. Quelques « dates » marquantes de l'évolution

Les premières plantes terrestres sont issues de l'évolution des algues vertes et sont apparues sur Terre au silurien moyen, il y a environ 420 millions d'années (voir Annexe 3, échelle des temps géologiques). Les premières d'entre elles étaient probablement des algues filamenteuses déjà capables de survivre temporairement sans eau, à marée basse. Leur évolution s'est traduite par l'apparition, dans l'appareil végétatif, de tissus différenciés constituant des organes, comme les tiges, les racines et les feuilles. Chez les algues, il n'existe pas de tissus différenciés et l'appareil végétatif est constitué de cellules toutes semblables réunies en un filament ou une lame aplatie, appelé thalle. Il s'agit d'une étape fondamentale dans l'histoire de la vie car la présence de plantes sur les continents va modifier radicalement les sols, jusque là uniquement minéraux, et va permettre d'héberger une microfaune qui y trouve nourriture et protection contre la dessiccation.

Au dévonien, il y a quelque 400 millions d'années, époque à laquelle apparaissent les insectes, deux lignées de végétaux chlorophylliens terrestres ont vraisemblablement divergé, celle des mousses et celle des plantes vasculaires, c'est-à-dire celles qui possèdent des vaisseaux conducteurs de sève. Les premiers vertébrés à quatre pattes (les tétrapodes) apparaissent vers – 370 millions d'années. Les plantes vasculaires ont d'abord été représentées par les fougères qui ont connu leur apogée au carbonifère, il y a environ 300 millions d'années. Cette période géologique doit son nom au fait que les fougères arborescentes ont constitué à l'époque d'immenses forêts dont la fossilisation a conduit à la formation de vastes gisements de charbon, souvent exploités aujourd'hui. Vers la fin de cette période, certains vertébrés sont devenus capables de se reproduire en dehors de l'eau et ont commencé à peupler les milieux terrestres. La disparition de la plupart des fougères a commencé au permien, il y a environ 200 millions d'années.

Les spermatophytes ou plantes à graines se sont probablement séparées des fougères dès le dévonien, il y a quelque 400 millions d'années, mais elles n'ont commencé à véritablement dominer la flore terrestre que bien plus tard, il y a environ 100 millions d'années, à peu près à l'époque où se sont diversifiés les oiseaux et les mammifères. Mieux adaptées à la vie aérienne par leur système de reproduction sexuée indépendant de l'eau liquide (transport du pollen par des animaux ou par le vent), les plantes à graines sont aujourd'hui les plantes les plus nombreuses avec environ 260 000 espèces décrites et elles occupent tous les habitats de la planète à l'exception des plus extrêmes.

4. La faune actuelle

La faune actuelle se répartit en une trentaine d'embranchements (annélides, mollusques, arthropodes, vertébrés, échinodermes, etc.), un embranchement ou phylum étant défini comme l'ensemble des organismes ayant hérité un même plan d'organisation d'un ancêtre commun. Les archives paléontologiques montrent que tous ces phylums existaient dès le cambrien, il y a 550 millions d'années. Les embranchements d'animaux actuels qui comportent le plus grand nombre d'espèces différentes sont ceux des annélides ou vers annelés (environ 15 000 espèces), des nématodes ou vers ronds (environ 25 000 espèces), des vertébrés (environ 45 000 espèces), des mollusques (environ 70 000 espèces) et surtout des arthropodes (plus de 1,2 million d'espèces dont plus de 1 million d'espèces d'insectes).

Animal ou végétal ?

Comme d'habitude, nous avons ici affaire à « une histoire de cousins ». Les animaux et les végétaux sont des cousins, mais ayant un ancêtre commun très ancien. Ce dernier était - comme eux - un organisme eucaryote, c'est à dire (pour faire simple) possédant des cellules avec un matériel génétique protégé par une membrane et donc un "noyau vrai" (à la différence des procaryotes dont le matériel génétique n'est pas entouré d'une membrane, ce qui est notamment le cas chez les bactéries). A partir de cette divergence ancienne, ces deux groupes (on parle de "règnes") ont acquis chacun de leur côté des caractéristiques qui les rendent très différents.

a) Même si elles partagent le fait d'être eucaryotes et de posséder des organites internes (dont les fameuses mitochondries), les cellules animales et végétales présentent de grandes différences :

- La cellule animale et la cellule végétale sont toutes deux entourées d'une membrane. En plus de cette membrane, la cellule végétale est incluse dans un cadre rigide : une paroi de cellulose. La cellule est moins déformable et moins mobile.

- La cellule végétale possède une poche remplie de liquide : la vacuole, qui occupe son centre.

- La cellule végétale possède dans sa machinerie un élément absent dans les cellules animales : le chloroplaste, qui contient de la chlorophylle et est impliqué dans le phénomène de photosynthèse (voir après). Ces chloroplastes ont une couleur verte qui est observable chez (presque) tous les végétaux à l'œil nu, à l'échelle de l'organisme tout entier.

b) Ces différences de structure ont des conséquences sur la physiologie de ces organismes. De nombreuses différences existent quant à la reproduction et la respiration, mais nous nous pencherons ici sur la nutrition, puisqu'on peut dire que les animaux et les végétaux utilisent aujourd'hui des "stratégies différentes pour se nourrir".

- La stratégie utilisée par les animaux consiste (sauf exceptions) à se déplacer pour chercher la nourriture (parfois sur des milliers de kilomètres !). La nourriture consommée se présente presque toujours sous la forme d'autres organismes : l'animal est hétérotrophe, c'est à dire qu'il doit consommer de la matière biologique (organique) végétale ou animale pour pouvoir grandir. La croissance des animaux, de plus, n'est pas continue au cours de leur vie.

- La stratégie utilisée par les végétaux est différente. Ils sont immobiles dans un lieu favorable à leur nutrition : c'est à dire dans un endroit où les facteurs essentiels à leur photosynthèse sont réunis. Leur nutrition est indépendante de la consommation d'autres organismes vivants : le végétal est autotrophe, c'est à dire qu'il peut synthétiser sa matière organique et grandir en exploitant uniquement la lumière du soleil, l'eau et les sels minéraux du sol et le CO₂ de l'air. La croissance des végétaux est continue tout au long de la vie.

c) Comme toujours avec le vivant, on observe des convergences et des cas particuliers. On rencontre notamment :

- Des phénomènes de photosynthèse chez des organismes non-végétaux, par symbiose avec des cellules végétale et parfois même incorporation au génome des gènes codant la machinerie de photosynthèse, comme chez la limace de mer *Elysia chlorotica* :

<http://www.planet-techno-science.com/wp-content/uploads/greenseaslug.gif>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Elysia_chlorotica

- D'autres types d'autotrophie, par exemple chez les vers marins des "fumeurs noirs" capables de synthétiser leur matière organique à partir des éléments chimiques présents dans l'eau.

- Des animaux immobiles usant eux aussi de la stratégie "*mon coin est le meilleur pour manger alors j'y reste, ça me fait économiser de l'énergie*", notamment les animaux filtreurs accrochés aux rochers et fonds marins,

- Des végétaux dotés de mouvements faute de pouvoir se déplacer (la sensitive, le tournesol...),

- Des végétaux trouvant un complément alimentaire en mangeant des animaux (les plantes carnivores), voire des végétaux complètement hétérotrophes car parasites (certains ont même perdu leur chlorophylle faute de s'en servir, par exemple la cuscute d'Europe, *Cuscuta europaea*).

Comme toujours, il faut comprendre que des "grandes boîtes" existent pour ranger les objets de la nature, mais qu'elles ne sont pas absolues. "Tout ce qui fonctionne bien" dans un environnement donné a une chance de répandre ses gènes, même si cette nouveauté implique la perte de la photosynthèse chez une plante ou l'acquisition d'une immobilité chez un animal.

Lorsque nous nous trouvons perturbés dans notre volonté de "bien ranger" dans des tiroirs séparés (la maniaquerie humaine !), interrogeons nous sur l'histoire des organismes que nous observons et faisons attention aux rassemblements hâtifs, surtout ceux basés sur le mode de vie. Ce corail (dont les cellules et la physiologie sont résolument animales) et cette pivoine (incontestablement de nature végétale) sont tous deux immobiles, certes. Mais l'histoire de cette immobilité est elle la même ? Le corail l'a-t-il toujours été où est-ce une "nouveauté qui lui profite bien", générée un jour par le hasard dans une lignée d'ancêtres qui eux, étaient mobiles ? La seule classification qui ait un sens est celle qui raconte ces histoires...

5. Les fossiles

De nombreux êtres vivants, mais en réalité une proportion très faible (estimée entre 0,01 et 0,1 %) de ceux qui ont peuplé la Terre au cours des temps géologiques, ont laissé des traces fossiles constituant autant de témoignages de l'histoire de la vie enregistrés dans les roches. Leur étude montre que des espèces ont disparu tandis que de nouvelles sont apparues tout au long des temps géologiques. En nous renseignant sur des espèces disparues et en nous permettant d'identifier certaines des modifications subies par les êtres vivants au cours des temps géologiques, les fossiles constituent des témoins de l'évolution. Les plus anciennes traces de vie repérées datent de quelque 3,5 milliards d'années, soit environ 1 milliard d'années après la formation de la planète.

L'échelle des temps géologiques

Le premier découpage des temps géologiques a consisté à établir une chronologie relative (tel terrain est-il plus jeune ou plus vieux que tel autre ?). Historiquement fondée essentiellement sur la présence de fossiles caractéristiques (fossiles stratigraphiques), on a ainsi appelé phanérozoïque (du grec *phanéros*, apparent et *zoikos*, relatif aux animaux) la période la plus récente de l'histoire de la Terre, celle ayant laissé des fossiles. Avec la découverte de la radioactivité, on a pu ensuite mettre

au point des méthodes radiométriques permettant d'assigner un âge absolu aux différents terrains, et donc aux âges géologiques, sans avoir besoin des fossiles. Le phanérozoïque, d'une durée de quelque 550 millions d'années, a été lui-même divisé en trois ères, paléozoïque ou ère primaire, mésozoïque ou ère secondaire, cénozoïque comprenant le tertiaire et le quaternaire, cette dernière subdivision ayant été créée uniquement pour qualifier des terrains contenant des fossiles humains. On appelle antécambrien ou précambrien la période comprise entre la formation de la Terre et le phanérozoïque dont le cambrien représente la première période. C'est au début de cette période, il y a environ 540 millions d'années, qu'apparaissent pour la première fois les principaux embranchements d'animaux connus aujourd'hui.

Des épisodes d'extinctions massives suivis de périodes de diversification

Les fossiles de telle ou telle espèce sont le plus souvent cantonnés à un petit nombre de couches géologiques, ce qui montre que les espèces naissent, se développent puis disparaissent, leur durée d'existence moyenne étant comprise entre 1 et 10 millions d'années. L'évolution du nombre d'espèces fossiles montre des fluctuations irrégulières avec des pics de diversification et des pics d'extinction. Ainsi, l'histoire de la vie a été marquée par plusieurs épisodes d'extinctions massives. Correspondant à des crises écologiques brutales à l'échelle des temps géologiques, elles ont considérablement réduit la biodiversité. Ces épisodes, aisément identifiables dans les archives géologiques par des discontinuités paléontologiques et géologiques, ont été utilisés pour séparer les temps géologiques en différentes périodes. Si la crise située à la charnière entre les ères secondaire et tertiaire est bien connue du grand public car c'est à cette époque que les dinosaures ont disparu, cinq autres grandes crises ont marqué l'histoire de la vie. Les archives géologiques montrent que les extinctions liées à ces crises sont sélectives et infléchissent donc le cours de l'évolution. Cependant, après chaque grande crise, la vie se diversifie de nouveau en quelques millions d'années et la biodiversité augmente alors considérablement, soit avec des groupes qui existaient déjà avant la crise, soit avec l'apparition de groupes entièrement nouveaux. Mais la biodiversité passée est particulièrement difficile à évaluer à partir des fossiles. Ce qui est certain, toutefois, c'est que le quaternaire est caractérisé par des extinctions importantes dues à la succession des glaciations ayant marqué cette période et surtout par l'apparition d'une espèce, l'espèce humaine, dont les activités perturbent de nombreux écosystèmes et détruisent nombre d'espèces vivantes. Aussi, si la nature actuelle résulte essentiellement de l'explosion de la biodiversité qui a suivi la crise marquant la fin de l'ère secondaire avec notamment l'essor des plantes à fleurs et des mammifères, beaucoup de scientifiques redoutent qu'une sixième crise majeure ait commencé en raison de la réduction rapide de la biodiversité et des changements climatiques résultant des activités humaines qui vont accélérer encore ce phénomène.

V. La protection de la biodiversité : une préoccupation mondiale

On a coutume de dire que la biodiversité est le tissu vivant de la Terre. Contrairement à une idée répandue, la prise de conscience par la communauté scientifique de l'érosion de la biodiversité n'est pas si récente : c'est en 1923 qu'a été organisé à Paris le premier Congrès international sur la protection de la nature et l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a vu le jour en 1956. Cependant, la prise de conscience a été plus tardive chez les citoyens, les décideurs et les gouvernements.

1. Une préoccupation ancienne

Le premier programme ayant explicitement pour but de réduire la perte de biodiversité, intitulé « L'Homme et la biosphère » (en anglais *Man and Biosphere*) a été lancé par l'Unesco en 1971. En 1972, lors de la première Conférence des Nations unies sur l'environnement humain à Stockholm, la conservation de la diversité biologique apparaît pour la première fois comme une préoccupation internationale et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) voit le jour. En France, la loi relative à la protection de la nature promulguée en 1976 dispose dans son article premier : « *La protection des espaces naturels et des paysages, la préservation des espèces animales et végétales, le maintien des équilibres biologiques auxquels ils participent et la protection des ressources naturelles contre toutes les causes de dégradation qui les menacent sont d'intérêt général.* » Les premières réserves de biosphère sont créées l'année suivante. En 1980, les questions relatives à la diversité biologique sont liées pour la première fois à un type de développement qualifié en anglais de « *sustainable* », c'est à dire soutenable (devenu en français « développement durable ») dans la « Stratégie mondiale de la conservation » publiée par l'UICN. Cette publication affirme que l'humanité, en tant que partie intégrante de la nature, est condamnée à disparaître si la nature et les ressources naturelles ne sont pas préservées.

2. La Convention de Rio

Le Fonds pour l'environnement mondial est créé par l'ONU en 1990 pour financer les surcoûts liés aux projets du PNUE dans les pays en développement. L'année suivante, l'UICN, le PNUE et le WWF (*World Wildlife Fund*, Fonds mondial pour la nature) publient « Sauver la planète - Stratégie pour l'avenir de la Vie », document préparatoire à la Convention sur la diversité biologique qui sera adoptée au Sommet de Rio, en 1992. Entrée en vigueur en 1993, ratifiée aujourd'hui par 190 états plus l'Union européenne, elle souligne que : « *les ressources et les équilibres naturels ont conditionné l'émergence de l'humanité. L'avenir et l'existence même de l'humanité sont indissociables de son milieu naturel* ». La même année, les questions environnementales sont prises en compte pour la première fois dans la Politique agricole commune européenne (PAC). De plus, une directive européenne sur la conservation des habitats naturels de la faune et de la flore sauvages (plus connue sous le nom de directive Habitats), institue le réseau Natura 2000 destiné à recenser et à protéger les écosystèmes.

3. Le Protocole de Kyoto

En 1997, le Protocole de Kyoto rappelle la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique pour protéger la biodiversité et l'avenir de l'humanité. Assurer un environnement durable sera, en l'an 2000, l'un des huit « Objectifs du Millénaire pour le développement » définis lors de l'Assemblée générale des Nations unies. Destinés à aboutir en 2015, leur réalisation a déjà pris un sérieux retard. De même, en 2002, les gouvernements se sont engagés « *à assurer, d'ici 2010, une forte réduction du rythme actuel d'appauvrissement de la biodiversité aux niveaux mondial, régional et national, à titre de contribution à l'atténuation de la pauvreté et au profit de toutes les formes de vie sur Terre* », mais on voit bien que cet objectif est encore loin d'être atteint (voir le paragraphe QUE FAIRE ?). À partir des années 2000, une initiative destinée à évaluer régulièrement l'état des écosystèmes de la planète est lancée. Le rapport d'évaluation, publié en 2005, a mobilisé 1 360 experts. Il établit les faits suivants :

- la biodiversité contribue entre autres à la sécurité, à la santé et au bien-être de l'espèce humaine ;
- l'appauvrissement de la biodiversité causé par des facteurs anthropiques a été plus rapide ces 50 dernières années que lors de l'ensemble de l'histoire humaine ;
- la dégradation des écosystèmes pourrait s'aggraver considérablement au cours de la première moitié de ce siècle et faire obstacle aux objectifs du millénaire si des efforts sans précédent ne sont pas réalisés pour la réduire.

La même année, un appel urgent est lancé aux gouvernements, aux décideurs politiques et aux citoyens. Sous le nom d'Appel de Paris, il demande notamment que soient entreprises les actions nécessaires pour soutenir le développement des connaissances scientifiques ainsi que les actions en faveur de la conservation et de l'utilisation durable et équitable de la biodiversité.

4. Une sixième extinction de masse ?

Malgré la prise de conscience des menaces pesant sur la biodiversité, le dernier rapport du PNUE paru en 2007 (*Global Environment Outlook*) constate qu'après les cinq extinctions majeures qui ont décimé la biodiversité au cours des temps géologiques, une sixième extinction majeure est en cours. En effet, le rythme d'extinction des espèces est probablement entre 100 et 1 000 fois plus rapide que le rythme naturel caractéristique du passé terrestre, en raison des activités humaines. On assiste ainsi à une diminution rapide de la diversité des gènes, des espèces et des habitats. L'érosion de la biodiversité est due essentiellement à la fragmentation des habitats, à leur dégradation ou à leur disparition et aux effets du réchauffement climatique. Il s'y ajoute le commerce international d'espèces menacées et l'introduction d'espèces invasives.

Des milliers d'espèces menacées

Le bilan publié en novembre 2009 par l'UICN confirme la tendance observée par les différentes études menées précédemment. Il concerne 47 677 espèces animales et végétales réunies sur une « Liste rouge ». Dans cet échantillonnage considéré comme une référence par la communauté scientifique, 17 291 espèces sont menacées d'extinction. Cela concerne, pour les espèces de vertébrés recensées sur toute la planète, 12 % des espèces d'oiseaux, 21 % des espèces de mammifères, 30 % des espèces d'amphibiens. Concernant les espèces dont le recensement par l'UICN ne couvre pas totalement la population mondiale, 28 % des reptiles, 37 % des poissons d'eau douce, 70 % des plantes et 35 % des animaux autres que les vertébrés sont menacés.

La situation est encore plus critique pour les espèces utilisées par l'homme pour son alimentation ou pour la médecine traditionnelle : 36 % des mammifères qui servent à l'homme pour se nourrir sont en danger alors que pour l'ensemble des mammifères, ce sont « seulement » 21 % des espèces qui sont en danger. En outre, de nombreuses espèces aujourd'hui considérées comme en bon état de conservation seront touchées par la dégradation de leur environnement liée au changement climatique.

Menaces sur la diversité des plantes cultivées

Concernant les plantes cultivées pour l'alimentation, on constate qu'en un siècle, les trois quarts de leur diversité a purement et simplement disparu. Sur environ 10 000 plantes qui ont été utilisées par l'homme pour se nourrir, seulement 150 restent cultivées et, parmi elle, une douzaine apporte 80 % des aliments d'origine végétale consommés dans le monde. Quatre espèces, le riz, le blé, le maïs et la pomme de terre constituent à elles seules 60 % du total. Cette réduction représente un risque pour l'alimentation humaine accentué par le changement climatique car des variétés résistantes à la sécheresse, à des insectes ou à des maladies disparaissent alors que nos systèmes de production agricole fondés sur la monoculture sont fragiles.

5. L'organisation des actions internationales

Aujourd'hui, la communauté internationale a structuré son action en faveur de la biodiversité selon quatre axes. Le premier est la Convention sur la biodiversité qui en constitue l'aspect politique. Le second est la recherche : les efforts de recherche scientifique sont organisés par le réseau *Diversitas*

mis en place par l'Unesco et le Conseil international pour la science, avec pour objectif de créer une communauté de chercheurs spécialistes. Le troisième axe est celui de l'évaluation des connaissances accumulées, dévolue au *Millenium Ecosystem Assesment* (évaluation des écosystèmes pour le millénaire) et l'IPBES (*Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écologiques) qui devrait être l'équivalent pour la biodiversité de ce qu'est le GIEC (Groupe international d'experts sur l'évolution du climat) pour le climat. Enfin, le quatrième axe consiste à mesurer les changements subis par la biodiversité et à modéliser son évolution future. Pour cela, le réseau GEO BON (*Group on Earth Observation Biodiversity Observation Network*) installe depuis 2009 sur tous les continents des stations d'observation permettant un suivi périodique et global.

Des résultats mitigés

Comme on le voit, si la prise de conscience a été tardive en dehors des sphères scientifiques, de nombreuses actions sont maintenant engagées, en particulier au niveau local. Elles ont permis de stopper le déclin de plusieurs espèces, souvent emblématiques, notamment l'éléphant d'Afrique, le cheval de Prjevalski, le tamarin noir du Brésil ou encore le rhinocéros unicolore d'Inde. Mais ces succès limités ne doivent pas cacher la réalité, notamment celle de l'érosion de la biodiversité « ordinaire » et J.-C. Vié, auteur principal du rapport de l'UICN en 2009 souligne à propos de l'érosion de la biodiversité : « *Nous ne pouvons que constater que la communauté internationale, qui, en 2002, s'était fixé pour objectif de freiner cette tendance d'ici 2010, a échoué* ». La troisième édition des « Perspectives mondiales de la biodiversité » publiée le 10 mai 2010 par les Nations unies confirme très clairement cette conclusion et la documente chiffres à l'appui. Aucun des 110 pays ayant remis à l'ONU un rapport (supposé faire état des progrès constatés à l'horizon 2010) n'a rempli les objectifs prévus : la surface des habitats naturels continue de diminuer presque partout et leur état continue de se dégrader.

VI. Les écosystèmes fournissent des services écologiques

Le problème de l'érosion de la biodiversité est devenu aujourd'hui un problème d'environnement global au même titre que le changement climatique et la nécessité de protéger les écosystèmes est une idée maintenant partagée universellement, ce qui a conduit à décider de créer l'IPBES, ce groupe international d'experts en cours de constitution sous l'égide de l'ONU, pour suivre l'évolution de la biodiversité, sur le modèle du GIEC (voir ci-dessus « *L'organisation des actions internationales* »).

1. La capacité de résilience des écosystèmes

Les questions concernant les fonctions des écosystèmes et les services qu'ils rendent sont loin d'être toutes résolues. Si l'on admet que la capacité d'adaptation d'un écosystème ou son aptitude à retrouver son état antérieur après une perturbation, ce qu'il est convenu d'appeler sa résilience, sont d'autant plus importantes que sa biodiversité est élevée, les mécanismes en cause sont encore mal connus et la recherche dans ce domaine doit s'intensifier. De même, plus la diversité génétique des espèces est élevée et plus grande est leur capacité d'adaptation aux perturbations de leur environnement. Ainsi, une expérience menée en Chine a montré que la diversité génétique du riz augmentait considérablement sa résistance à une moisissure responsable de la principale maladie du riz. En cultivant les variétés sensibles à cette maladie en association avec d'autres variétés, leur rendement a augmenté de 89 % et la maladie a reculé de 94 %. Après deux ans d'expérimentation, plus aucun fongicide n'était utilisé...

2. La diversité biologique des écosystèmes

On distingue trois aspects dans la diversité biologique des écosystèmes. Tout d'abord, on appelle « richesse » d'un écosystème le nombre d'espèces différentes qui y vivent. Ensuite, on parle de diversité fonctionnelle pour qualifier des capacités particulières de certaines espèces qui y sont présentes, comme la capacité à fixer l'azote atmosphérique. Enfin, certains écosystèmes sont caractérisés par la présence d'espèces qui ne se trouvent nulle part ailleurs (espèces endémiques). Pour identifier les services écologiques fournis par un écosystème, il est nécessaire de prendre en compte ces trois aspects, même si la diversité fonctionnelle est la plus importante.

3. Les services écologiques rendus par les écosystèmes

Les services écologiques rendus par les écosystèmes sont liés aux cycles biogéochimiques qui s'y déroulent, notamment le cycle du carbone et le cycle de l'eau, ainsi qu'aux multiples interactions entre les êtres vivants et entre les êtres vivants et l'environnement. La régulation de la concentration des gaz à effet de serre, l'épuration des eaux, le recyclage des déchets ou encore la pollinisation de la majorité des plantes à fleurs par des animaux sont parmi les services essentiels rendus par les écosystèmes. On regroupe ces services écologiques en trois catégories : les services d'approvisionnement (sources de nourriture, de médicaments, de fibres végétales, de bois, etc.), les services de régulation (« puits » de CO₂, « sources » d'O₂, épuration des eaux, etc.) et les services culturels (tourisme, sites à caractère spirituel ou religieux, etc.). Le rapport sur l'Évaluation globale de l'environnement publié en 2007 en identifie au total 24 dont 15 sont en déclin. Comme ces services sont rendus gratuitement, ils passent souvent inaperçus. Parmi les services en déclin, on peut citer l'approvisionnement en eau douce et les ressources halieutiques marines, la capacité de l'atmosphère à éliminer les polluants, la pollinisation, la capacité des systèmes agricoles à se défendre contre les parasites, le nombre et la qualité des sites dotés d'une valeur spirituelle ou religieuse.

VII. Que faire ?

À l'échelle de la planète, la biodiversité augmente des pôles à l'équateur et les forêts intertropicales sont considérées comme les écosystèmes terrestres les plus riches. Ce sont d'ailleurs les zones où l'on trouve le plus de « points chauds de la biodiversité », une trentaine de régions reconnues comme à préserver prioritairement en raison de leur richesse en biodiversité et des menaces qui pèsent dessus. Ces points chauds, qui représentent environ 16 % de la surface des terres émergées, concentrent environ la moitié des plantes endémiques et 42 % des espèces endémiques de vertébrés.

1. Espèces endémiques, biomes et écorégions

On appelle espèce endémique une espèce dont la répartition géographique se limite à une zone donnée. De la même façon, l'organisme qui fédère à l'échelle internationale les organisations de protection des oiseaux a répertorié 218 aires de protection représentant 5 % de la surface des terres émergées où se trouvent 26 % de l'ensemble des espèces d'oiseaux. La majeure partie de ces zones est d'ailleurs commune aux points chauds. Cependant, comme les milieux marins ne sont pas pris en compte dans ces classements et qu'en outre des écosystèmes pauvres en espèces peuvent exercer des fonctions irremplaçables, par exemple dans les cycles biogéochimiques comme le font beaucoup de zones humides, le Fond mondial pour la nature (WWF) a divisé la planète en sept grandes zones biogéographiques regroupant quatorze types d'environnements terrestres, trois types de milieux d'eau douce et quatre de milieux marins. Chacune de ces grandes zones biogéographiques ou biomes est caractérisée par les conditions écologiques qui y règnent, climat, sol, espèces vivantes, etc., et regroupe un ensemble d'écosystèmes. 238 zones (appelées « les 200

écorégions ») ont ainsi été répertoriées dont seulement 60 % de la surface est commune avec les points chauds. Malgré les imperfections des divers types de classement, ils permettent de définir des priorités dans les opérations de protection ou de restauration.

2. Les actions menées en France et en Europe

En France, pour mieux connaître l'état et l'évolution de la biodiversité, le programme « Vigie-Nature » du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) fédère à l'échelle nationale des réseaux de naturalistes qui suivent l'état de la biodiversité. Différents groupes indicateurs de biodiversité (oiseaux communs, papillons, chauves-souris, amphibiens, escargots, bourdons, plantes...) sont surveillés tout au long de l'année au niveau local ou régional par des associations naturalistes et des volontaires selon des protocoles simples et rigoureux mis au point par les scientifiques du MNHN. Les résultats sont rendus publics sur Internet. Des réseaux fondés sur le même principe existent dans de nombreux autres pays d'Europe et les résultats obtenus sont mutualisés. Dans toute l'Europe, on observe la même tendance : les animaux dits « spécialistes », c'est-à-dire étroitement inféodés à un milieu, une source de nourriture, une plante, etc., sont en déclin alors que les espèces dites « généralistes », c'est-à-dire qui peuvent s'accommoder de milieux divers, sont parfois en augmentation. Chez les oiseaux communs, par exemple, dont le suivi est assuré depuis 20 ans, les résultats montrent que, toutes espèces confondues, la France a perdu en vingt ans 10 % des espèces nichant sur son territoire et que les populations se sont déplacées globalement d'une centaine de kilomètres vers le nord. En outre, les espèces septentrionales sont davantage en déclin. À l'échelle européenne, 43 % des 500 espèces sauvages de l'avifaune sont en déclin, même si les mesures prises depuis trente ans ont permis d'améliorer la situation de plusieurs espèces menacées grâce notamment à la mise en place de zones de protection spéciales recouvrant 10 % du territoire de l'Union européenne, réparties dans les 27 pays membres et intégrées dans le réseau écologique Natura 2000.

3. Les causes du déclin de la biodiversité

Les causes de l'érosion de la biodiversité en Europe sont connues. Elle est due essentiellement aux changements dans l'utilisation et la gestion des terres avec le déclin de l'agriculture traditionnelle et de la gestion des forêts qui ont pour résultat la dégradation des habitats naturels ou semi naturels. Mais l'urbanisation, l'industrialisation, la modification du cours des rivières et de leur lit, la fragmentation des habitats par les infrastructures, la pression croissante liée au tourisme de masse provoquent aussi d'importantes pertes de biodiversité.

Enfin, les chercheurs s'accordent sur le fait que le changement climatique contribue largement à l'érosion de la biodiversité. C'est pourquoi la lutte contre le réchauffement global est étroitement liée à celle contre l'érosion de la biodiversité. Un récent rapport du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) estime ainsi que 15 % de la réduction du niveau de CO₂ atmosphérique nécessaire pour atteindre l'objectif de limitation de la hausse des températures à 2 °C d'ici à 2100 pourraient être réalisés en protégeant mieux quelques grands écosystèmes planétaires constituant d'importants puits de CO₂ car le CO₂ piégé par les écosystèmes terrestres est trois fois plus important que celui présent dans l'atmosphère.

4. Des efforts à cibler

C'est pourquoi le PNUE suggère de concentrer les efforts sur les forêts tropicales (leur déforestation contribue pour 20 % aux rejets de CO₂) et sur les zones humides qui sont souvent asséchées pour être transformées en surfaces agricoles. Les tourbières séquestrent en moyenne 1 450 tonnes de carbone par hectare, beaucoup plus que les autres écosystèmes, et 65 millions d'hectares de tourbières seraient actuellement dégradés, en particulier en Asie du Sud-est. Ce n'est pas seulement leur protection qu'il faudrait assurer, mais aussi leur restauration et la création de nouveaux espaces jouant le rôle de puits de carbone. Les experts du PNUE soulignent que le coût pour capturer et

stocker 1 tonne de carbone va de 20 à 270 € pour des technologies encore incertaines alors que 10 € suffisent pour obtenir le même résultat en utilisant différemment les sols. De la même façon, de nombreux services écologiques rendus par les écosystèmes pourraient sans doute être remplacés par des solutions technologiques, mais les estimations montrent que ce serait à des coûts prohibitifs, inaccessibles pour la plupart des pays. L'économiste Pavan Sukhdev, chargé de rédiger un rapport pour l'Union européenne, estime la perte de biodiversité dans les seules zones forestières entre 1 350 et 3 100 milliards de dollars d'ici à 2050 si la déforestation se poursuit au rythme actuel. En Europe, outre la lutte contre le changement climatique, il faudrait déjà commencer par augmenter les aires de conservation, prendre des mesures pour améliorer la connectivité entre les habitats de façon à faciliter les déplacements des espèces et renforcer considérablement le réseau des sites Natura 2000 et l'application de la directive « Habitats ».

Conclusion

Résultat de 4,6 milliards d'années d'évolution géologique et biologique, la planète abrite une extraordinaire biodiversité. Celle-ci se décline sur le plan génétique, sur celui du nombre d'espèces différentes et sur celui de la variété des écosystèmes et des interactions qui s'y déroulent. Cette biodiversité est menacée par l'extension des activités humaines, ce que dénonçait déjà Lamarck (1744-1829) en son temps. En s'accroissant et en se développant, l'humanité a en effet transformé l'environnement et réduit de façon drastique les différentes facettes de la biodiversité. Non seulement cette réduction se poursuit aujourd'hui, mais de plus elle s'aggrave en raison du réchauffement climatique. Ainsi, le taux d'extinction des espèces est cent à mille fois plus élevé que le taux naturel et les projections font état d'une perte des deux tiers de toutes les espèces avant la fin de ce siècle. De plus, la consommation des ressources naturelles par les populations humaines dépasse de 20 % la capacité de régénération de la planète. Même si ces estimations sont entachées d'une assez grande marge d'incertitude, il ne fait pas de doute qu'il s'agit bien là d'une crise majeure dont les conséquences se feront sentir longtemps.

Pourtant, nous restons dépendants de la biodiversité à bien des égards puisque la quasi totalité de nos ressources alimentaires et pharmaceutiques, par exemple, en sont issues, que les cycles biogéochimiques en dépendent étroitement et que la nature constitue aussi un patrimoine culturel. Plus généralement, la plupart des services écologiques rendus gratuitement par la biodiversité et dont nous dépendons étroitement, ne peuvent que difficilement être remplacés par de la technologie et, lorsque c'est possible, de manière très coûteuse. Or si bien des mécanismes de fonctionnement des écosystèmes et des interactions qui s'y déroulent nous restent encore inconnus, nous disposons d'ores et déjà de suffisamment de connaissances pour agir : la préservation de la biodiversité et son utilisation durable doivent devenir partie intégrante du développement et être prises en compte dans les décisions économiques et politiques. C'est pourquoi il importe que les élèves soient informés le plus tôt possible des questions liées à l'environnement et au développement durable, comme le préconisent les textes officiels. Les citoyens, comme les décideurs et les gouvernements doivent se sentir concernés et agir chacun à leur niveau.