



**La question de la Biodiversité
2010, l'Année Internationale de la Biodiversité**

Note de l'Académie des Technologies

La question de la Biodiversité 2010, l'Année Internationale de la Biodiversité

Note de l'Académie des Technologies

Rédaction : Alain Pavé

Avertissement : Cette contribution se veut être un élément de réponse à la lettre de Mme Chantal Jouanno, Secrétaire d'État chargée de l'écologie, datée du 19 octobre 2009. Elle a été élaborée par Alain Pavé sur la base d'un texte bref proposé par Patrice Desmarest et amendée par Yves Farges. Ce texte a aussi été relu et commenté par Bernard Delay, président de la FRB, Françoise Gaill, directrice de l'INEE du CNRS, Jean-Claude Mounolou et Christian Lévêque, de l'AAF. Suite aux remarques de notre confrère Bernard Le Buanec, un paragraphe sur la « biodiversité agricole et forestière » a été ajouté. Les commentaires de Bernard Chevassus-au-Louis ont été pris en compte. Une forme résumée et synthétique en 2 pages a été élaborée sur la base de la proposition de Pierre Feillet.

Sommaire

<u>LA QUESTION DE LA BIODIVERSITE 2010, L'ANNEE INTERNATIONALE DE LA BIODIVERSITE.....</u>	2
PREAMBULE : EMERGENCE DE LA « QUESTION DE LA BIODIVERSITE »	3
LA COMMUNAUTE SCIENTIFIQUE ET LA QUESTION DE LA BIODIVERSITE.....	6
DU COTE DE LA SOCIETE	8
LES ENJEUX, LES FORCES ET LES FAIBLESSES DES APPROCHES SCIENTIFIQUES, TECHNOLOGIQUES, ECONOMIQUES, SOCIOLOGIQUES ET POLITIQUES DE LA BIODIVERSITE	10
LA CONTRIBUTION SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE	11
Biodiversité et évolution	11
Vers une théorie synthétique de la biodiversité	12
Pour un renouveau de l'approche écosystémique.....	14
Technologies et démarches bioinspirées	14
Gestion et aménagement des territoires	15
Gestion des ressources vivantes.....	15
Technologies du vivant.....	16
Biodiversité agricole	16
Modéliser la biodiversité	17
L'économie de la biodiversité.....	18
Organisation de l'activité scientifique et technologique – forces et faiblesses du dispositif	18
LES ASPECTS ECONOMIQUES, SOCIOLOGIQUES ET POLITIQUES	21
RECOMMANDATIONS	23
PROPOSITIONS D' ACTIONS ACADEMIQUES CONCRETES.....	24

Préambule : émergence de la « question de la biodiversité »

Depuis la fin des années 1980, la « Question de la Biodiversité » est l'une des principales questions posées, avec celle du Climat, à propos des évolutions de l'environnement, puis des préoccupations de développement durable des sociétés humaines. Elle a donné lieu à une mobilisation importante de scientifiques et sensibilisé des nombreux citoyens ; en revanche, elle n'a pas encore conduit à la même structuration de l'effort de recherche et d'organisation pour l'aide à la décision au niveau international comme celle relative à l'évolution climatique, avec le GIEEC (Groupe International d'Experts sur l'Évolution du Climat, souvent intitulé plus simplement GIEC), même si une initiative actuelle, que nous allons évoquer, semble prometteuse.

Les trois raisons principales de cette différence résident, d'une part, dans la nature de la question, en fait, fort compliquée et schématisée par l'emploi du terme « érosion », voire dans la crainte d'une « 6^{ème} extinction », d'autre part, dans la diversité des représentations et des perceptions des systèmes vivants, et des changements récents dans ces représentations et ces perceptions, et, enfin, dans l'approche parfois affective et émotionnelle de ce qui touche au vivant. Notons aussi le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement et la qualité des écosystèmes et des paysages, elle rend de réels « services » aux sociétés humaines (eau, air, sols, nourritures, aménités diverses, etc.). Ces services¹, si l'on retient ce mot, sachant que dans sa définition première ne concerne que des partenaires humains en relations contractuelles, ont été longtemps ignorés, sinon comme puits sans fond dans lequel tous les déchets étaient déversés.

Tout d'abord, rappelons que les variations du climat, à travers des phénomènes météorologiques locaux, notamment s'ils sont catastrophiques, sont plus immédiatement perceptibles que la disparition souvent discrète de populations animales ou végétales. De plus, ces phénomènes sont une part du « fonds culturel » de nos sociétés tant est que la production des ressources alimentaires par l'agriculture est très conditionnée par le climat. Des variations climatiques, dans le passé, ont été à l'origine de grandes famines, même si d'autres causes, elles sociales, sont aussi responsables, notamment par l'amplification de telles crises. Pour ces raisons, quasiment liée à notre survie, la météorologie a très tôt fait l'objet de tentatives de prévisions, très empiriques pendant longtemps, elles se sont formalisées de plus en plus grâce à la compréhension et à la modélisation des phénomènes physiques impliqués. Même si beaucoup reste à faire, les modèles jouent donc un rôle essentiel ;

¹ Cette humanisation de la Nature à travers le langage caractérise de nouveaux modes de relations entre l'homme et les autres êtres vivants de la planète, et plus généralement avec son environnement. Elle n'est pas nouvelle, comme le signale fort justement Luc Ferry dans « Le nouvel ordre écologique » (Grasset, 1992), mais se développe et se popularise singulièrement. Même le langage scientifique n'y échappe pas, par exemple quand on utilise le mot stratégie dans l'expression « stratégie démographique » pour une population animale ou végétale.

ils ont pu être adaptés, puis de nouveaux modèles développés, à la prévision de l'évolution du climat. On peut dire aujourd'hui que c'est l'un des grands succès de la « méthode des modèles » : pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, un phénomène global, au double sens du terme, d'une part planétaire et, d'autre part, de l'intégration de multiples processus, est modélisé et simulé. De plus, les résultats obtenus sont utilisés dans des négociations internationales, elles aussi globales. Des études de scénarios peuvent être menés grâce à eux.

Ensuite et pour ce qui est de la biodiversité, il faut rappeler que cette question est plus récente que celle du climat. Elle émerge réellement, dans sa globalité, fin des années 1980 alors que la question du climat est plus ancienne. Même si des auteurs relevant des sciences naturelles avaient évoqué bien avant des disparitions d'espèces et si les pouvoirs publics avaient déjà créé des zones protégées, elle n'a guère été popularisée et médiatisée que lors de la Conférence de Rio de Janeiro en 1992 et n'a cessé de l'être depuis. De plus, elle pose celle, plus profonde et ancienne, des relations des humains avec les autres êtres vivants de la planète, et plus généralement de l'interaction homme-nature. En effet, pendant longtemps, pour ce qui est des espèces non domestiquées et des milieux dits « naturels », la perception était plutôt négative et souvent avec raison : les dangers réels ou supposés, souvent par méconnaissance, était l'objet de craintes ou de peur : peur du loup², crainte des milieux « opaques » ou fermés, comme la mer ou la forêt, et des animaux qui y vivent réellement ou qui relèvent de l'imaginaire des humains, voire opinions négatives sur les hommes qui peuplent ces milieux ou qui les exploitent. Or et cela fait partie d'une des grandes retombées de la science, la connaissance du vivant et des milieux a largement relativisé ces peurs. Ainsi, c'est au XIX^{ème} siècle, avec les progrès tous azimuts des sciences de la vie, que les premiers parcs naturels ont été créés, notamment aux États-Unis, et que les idées sur la protection des espèces vivantes sont apparues. C'est au XX^{ème} siècle, avec l'émergence de l'écologie que la perception positive de la nature s'est amplifiée. Par exemple, la vision de « la forêt d'émeraude » pour l'Amazonie, et plus généralement pour les forêts tropicales, remplace progressivement celle de l'« Enfer Vert », au moins dans certains groupes sociaux. La conséquence est aussi d'avoir une vision quelquefois idéalisée voire « angélique » de la nature, des êtres vivants qui la constituent, voire même des sociétés humaines qui l'habitent. On comprend pourquoi la question maintenant posée de la biodiversité a conquis un large public. De ce fait, on oublie souvent que la biodiversité c'est aussi des organismes pathogènes, que des animaux, comme l'ours blanc, peuvent être dangereux et que beaucoup de végétaux sont toxiques.

On remarquera cependant, que la perception concrète du monde vivant s'écartait de la vision religieuse de la Création et de sa traduction en termes du jardin d'Eden. L'homme, dans ses relations conflictuelle avec son environnement, notamment

² La peur du loup n'était pas que d'origine mythique, même si le danger réel a peut-être été amplifié, ainsi que le montre l'ouvrage de l'historien Jean-Marc Moriceau : Histoire du méchant loup, 3000 attaques sur l'homme en France (XVe-XXe siècle), Fayard, 2008.

biologique, en était donc bien exclu. Curieusement et bien que l'image de la Création soit rangée dans le rayon des récits poétiques et mythiques, cette perception positive récente de la nature, restaure d'une certaine façon cette image de l'Eden perdu. Par ailleurs et nous y reviendrons, la conception systémique qui prévaut en écologie, donc celle d'un ensemble structuré, est très opérationnelle quand il s'agit d'étudier les flux de matière et d'énergie, voire la biodiversité en termes de compartiments représentant des populations. Elle l'est beaucoup moins si l'on regarde la distribution spatiale des individus, la structure des écosystèmes. Cette distribution a le plus souvent une allure très erratique. En effet et comme il a été montré récemment, c'est un facteur de résistance aux perturbations et donc de résilience des écosystèmes et de leur biodiversité. Une autre conséquence de cette distribution aléatoire est que, dans ces « systèmes », les relations entre individus restent locales et conjoncturelles. On pourrait dire et contrairement à ce que nous fait penser notre culture très profondément ancrée dans des déterminismes solides : « c'est pour cette raison que ça marche. » Par ailleurs, la complexité globale, au sens des systèmes complexes, est sans doute une illusion ou une position de principe. Nombre et complexité ne sont pas synonymes³. Il n'en demeure pas moins que l'approche au niveau écosystème nous semble importante à renforcer ; toutefois il ne faut pas non plus ignorer les autres niveaux d'organisation du vivant et repenser les fondements de cette approche.

La question de la biodiversité est aussi très liée à celle du développement des sociétés humaines, comme, plus généralement, les questions d'environnement. Dès les années 1990 et singulièrement depuis la conférence de Rio, dont il faut rappeler qu'elle était organisée par le PNUED (Programme des Nations Unies pour l'Environnement et le développement), les relations entre développement et environnement étaient clairement établies (cf. réf. note 8), avec la constatation que la pauvreté était l'un des principaux facteurs conduisant les sociétés humaines à dégrader leur environnement ou à accepter cette dégradation pour survivre. La disparition des habitats écologiques qui en résulte est aussi l'une des causes principales d'érosion de la biodiversité. Plus généralement, l'impact de plus en plus important de l'homme sur son environnement le place dans une position nouvelle face à cet environnement et aux composantes vivantes de celui-ci. L'étude du système « sociétés humaines – environnement de ces sociétés » est à l'ordre du jour⁴

³ Le nombre d'arbres - de diamètre supérieur à 2cm - dans la forêt amazonienne est plus important que celui des neurones dans le cerveau humain (de l'ordre de 800 milliards/100 milliards). Si l'on ajoute les autres êtres vivants, le nombre d'individus est de plusieurs ordres de grandeur supérieurs. Mais les interactions sont infiniment moins nombreuses et restent pour l'essentiel très locales. Si bien qu'on n'observe pas de propriétés émergentes évidentes, qui distinguent, dans les définitions actuelles, systèmes complexes de systèmes compliqués. De fait, on ne peut mesurer que des grandeurs « statistiques », notamment d'échanges de composés chimiques, comme les GES (Gaz à Effet de Serre) ou des COV (Composés Organiques Volatiles) ou n'observer que des propriétés générales relativement simples, instanciées dans des particularités locales (par exemple les associations mycorhiziennes). En revanche, la dynamique « chaotique » de la forêt peut être qualifiée de complexe.

⁴ Voir par exemple : « *Quelles natures voulons-nous ? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement* » (Ed. Christian Lévêque et Saunders van der Leeuw), Elsevier, 2003.

Enfin, l'usage et l'exploitation durables des ressources renouvelables, notamment vivantes, rejoint les préoccupations émises à propos de la biodiversité. Ces préoccupations ont concerné et concernent toujours les forêts intertropicales gravement atteintes. Elles commencent néanmoins à faire l'objet de plus d'attention avec de nouvelles règles et techniques d'exploitation, par les exploitants forestiers eux-mêmes. On commence aussi à s'inquiéter de la déforestation pour l'augmentation des superficies à usages agricoles et à penser les espaces forestiers naturels en termes d'aménagement et de gestion des territoires, soucieux de préservation et de valorisation de la biodiversité. C'est le cas aussi pour les ressources halieutiques mais les difficultés semblent plus grandes sur les plans scientifiques et économiques. En effet, la ressource et sa dynamique sont plus difficiles à établir que pour la forêt, et sur le plan économique et socioprofessionnel les résistances sont multiples dans leur intensité et dans leur expression, dans la mesure où le secteur est différemment organisé (par exemple, pêche artisanale et pêche industrielle, syndicats, prudhommes et armateurs). Concrètement, on ne peut plus faire l'économie d'une meilleure estimation de la ressource et de sa dynamique, déjà naturellement très variable, et du dialogue avec les socioprofessionnel. On peut également envisager de développer l'aquaculture à condition de le faire de façon durable. Il est aussi important, sur le plan scientifique, de ne pas singulariser les recherches sur les écosystèmes marins, de ne pas répéter les erreurs du passé, de ne pas créer des ghettos disciplinaires, mais de les concevoir, avec leurs spécificités, dans le cadre général des recherches sur les systèmes vivants, sur écosystèmes et leurs diversités.

Ces sujets doivent aussi faire l'objet d'une approche « principe de précaution » : les citoyens perçoivent une menace dont les conséquences pourraient être graves et irréversibles. Par un travail de fond, en particulier grâce à un effort de recherche, il faut, dans ce sentiment issu de la perception d'une menace, la transformer en risques, avec des probabilités d'occurrences et hiérarchisés en fonction de leur gravité, auxquels il est apporté des solutions adaptées et proportionnées.

Pour la recherche scientifique, vu la multiplicité des acteurs, on peut se poser la question d'un certain décloisonnement institutionnel. Cependant, il reste très important que les résultats puissent être strictement évalués au risque de se noyer dans un océan de détails, voire d'affirmations douteuses et souvent contradictoires.

La communauté scientifique et la question de la biodiversité

La communauté scientifique, comme souvent, a été à l'origine de cette question, de l'alerte sur « l'érosion de la biodiversité », et même tout simplement du mot et de son sens très riche, peut-être même trop d'ailleurs, comme nous allons le voir. Mais d'abord, quelle est-elle cette communauté scientifique ? Les premiers mobilisés ont été les « naturalistes »⁵ dont la plupart sont devenus des écologues et parmi eux ceux qui s'intéressaient aux écosystèmes tropicaux. On en trouve le témoignage dans le livre

⁵ Parmi lesquels Jean Dorst en France.

fondateur de Edward O. Wilson and Frances. M. Peter (1988)⁶. Ils étaient témoins de l'exploitation sans ménagement des forêts tropicales humides et du déboisement qui en résultait. Ces écosystèmes étaient déjà bien connus comme porteurs d'un très grand nombre d'espèces différentes, d'une grande « diversité biologique ». Or la quasi destruction des habitats, liée aux atteintes aux écosystèmes, ont des conséquences directes en termes de disparitions d'organismes, de populations, au moins localement, voire d'espèces pour les plus endémiques. Ces disparitions peuvent être de plus grande ampleur si les atteintes sont de grande envergure. Par ailleurs, il est désormais bien admis que cette biodiversité est source de produits du vivant à usages multiples, connus, recensés ou espérés et qu'elle a aussi une dimension esthétique et culturelle, voire dans certains cas religieuse. La destruction des écosystèmes est alors vue comme une atteinte à cette « richesse » avérée ou potentielle. Puis, la fonction écologique de la biodiversité a été progressivement mise en évidence. En particulier, on a supposé et démontré dans quelques cas que la biodiversité assure la résilience d'un écosystème, qu'elle joue un rôle important dans le fonctionnement des cycles biogéochimiques ainsi que dans les transformations de diverses substances biotiques, xénobiotiques et abiotiques et que, souvent, elle augmente la productivité des écosystèmes. Aussi et récemment, avons-nous été menés à parler des « services de la biodiversité » liés à ceux de écosystèmes, puis à tenter d'évaluer ces services en termes économiques⁷.

On voit déjà, à travers cet exemple, que la question de la biodiversité n'est plus du ressort exclusif des sciences de la vie, écologie comprise. C'est ce qui, progressivement, la distingue de la « diversité biologique » d'où elle a donc émergé depuis la fin des années 1980. En effet et pendant longtemps, la diversité biologique a été au cœur des préoccupations de naturalistes, des biologistes, puis des écologues. C'est la grande difficulté de l'approche scientifique du monde vivant : la diversité des objets, des fonctions et des comportements ; elle est très gênante pour identifier des invariants, voire les objets eux-mêmes, pour énoncer des grandes lois. C'est aussi la grande richesse de cette approche, qui a demandé des trésors d'ingéniosité pour décrire ce monde (taxinomie), pour établir des phylogénies, pour imaginer son évolution et

⁶ Wilson O.E. (Ed), Peter F.M. (Ass. Ed.), 1988, *Biodiversity*. National Academic Press, Washington D.C.

⁷ Cf. pour les aspects économiques, liés notamment aux usages "non marchands", on peut citer, par exemple :

Constanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P. and Ven en Bely M. The value of the world's ecosystem services and naturel capital. *Nature*, 387, 1997, 253-260.

Chevassus -au-Louis et al. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Rapports et documents du Centre d'Analyse Stratégique, 2009.

On pourra également consulter les articles de Bernard Chevassus-au-Louis dans les « Cahiers d'études et de recherches franco-hones - Agriculture ». La biodiversité : un nouveau regard sur la diversité du vivant : I. Immensité et complexité (Ibid., 2007, 16, 3, 218-227), II. Stabilité et utilité (Ibid., 2008, 17, 1, 51-57), III. Fragilité : vers la sixième extinction ? (Ibid., 2008, 17, 3, 303-313).

La contribution de Catherine Aubertin et de Franck-Dominique Vivien est une référence plus ancienne, mais déterminante dans ces débats : Les Enjeux de la Biodiversité. *Économica*, 1998.

Enfin, l'économie de la biodiversité est une composante de grands laboratoires d'économie, par exemple le Lameta à Montpellier (cf. interview de Jean-Michel Salles dans le Journal du CNRS, n° 241-242, 2010, p30-31).

élaborer une remarquable théorie à ce propos (la théorie de l'évolution), pour décrypter son fonctionnement de la cellule à l'écosystème (biologie, physiologie et écologie), de dégager les « lois et les supports » de l'hérédité (génétique) et de développer des technologies du vivant (sélections variétales, biotechnologies, manipulations génétiques, plus récemment écotechnologies, technologies bioinspirées et biologie synthétique).

C'est ainsi, que dès le début des années 1990, il était clairement annoncé la nécessité d'une approche interdisciplinaire de la question de la biodiversité et des ressources biologiques, vue, dès cette époque, comme l'une des grandes questions « globales » de l'environnement, au même titre que celle de l'évolution climatique, et celle de la santé, du bien-être et du développement des sociétés humaines⁸. Des programmes nationaux et internationaux ont alors vu le jour, comme le programme *dynamique de la biodiversité et environnement*, lancé par le CNRS en 1992, sous les auspices de son Programme Environnement⁹, ou le programme *Diversitas*, conçu la même année dans le cadre de l'IUBS.

Du côté de la société

Comme nous l'avons déjà évoqué, la perception sociale du monde vivant et de la biodiversité a beaucoup changé depuis un peu plus d'un siècle. L'idée d'un « ordre naturel » est toujours présente et s'est même renforcée, ainsi que la tendance à la banalisation de l'homme et de sa place dans cet ordre. On retrouve d'une certaine façon le concept du cosmos grec : chacun à sa place dans la mécanique bien huilée de l'univers.

⁸ Jollivet M. et Pavé A. - L'Environnement, un champ de recherche en formation. *Natures, Sciences, Sociétés*, 1,1, 6-20, 1993.

⁹ Barbault R. et Pavé A. (Ed.) – *Dynamique de la biodiversité et environnement*. Programme Environnement, Vie et Sociétés, CNRS, 1999, 63p.

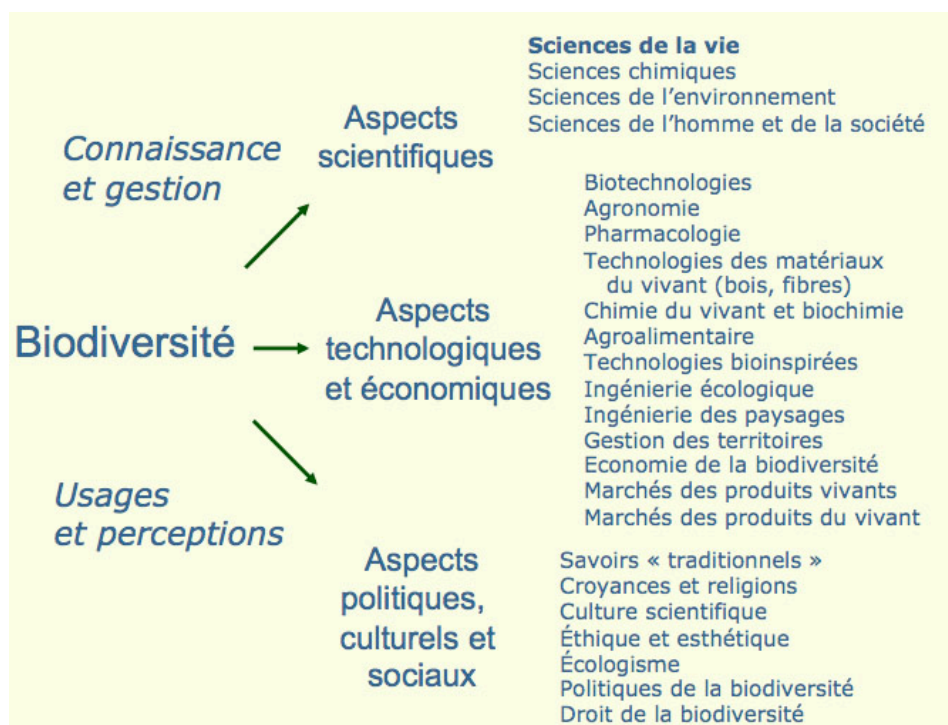


Figure : Les différentes facettes de la biodiversité (extrait de la conférence faite en séance plénière de l'Académie des Technologies, par A. Pavé, le 9 septembre 2009).

Outre les positions individuelles, plutôt positives pour la biodiversité, même si le concept est mal cerné, on trouve beaucoup d'expressions collectives à travers des associations multiples. En fait, le mot a été fédérateur et l'on trouve sous sa bannière des associations de protection de la nature, de défense de animaux, d'obédience écologiste, au sens politique, voire des mouvements de « chasseurs et de pêcheurs ». Des ONG ont pignon sur rue et sont influentes au niveau international (par exemple, WWF, ROC ou IUCN) des fondations ont l'accès au médias lancées sous le nom de personnalités connues du public : Cousteau, Nicolas Hulot, Yann Arthus-Bertrand, etc¹⁰. Le dénominateur commun est la mobilisation « locale » pour protéger notre voisinage, ou préserver des espèces emblématiques. Ainsi, s'inquiète-t-on face aux aménagements, aux perturbations de l'environnement, à la destruction d'habitats, à la disparition locales d'êtres vivants avec la confusion fréquente entre population et espèces, voire entre local et global. Ce n'est pas parce que des individus d'une population disparaissent d'un lieu, que la population a totalement été expulsée ou éradiquée ; ce n'est pas parce qu'une population a disparu d'un endroit que l'espèce est éteinte. Ces confusions sont à l'origine de bien des malentendus. Il n'empêche qu'il faut être attentif à toute disparition, voire à s'en inquiéter.

Cela étant, des associations et des ONG jouent un rôle essentiel dans la sensibilisation du public et certaines d'entre elles sont des auxiliaires précieux des pouvoirs publics, et aussi de la recherche.

¹⁰ On pourra se référer à l'ouvrage coordonné par Catherine Aubertin : Représenter la nature ? ONG et biodiversité. IRD Éditions, Paris, 2005.

Les médias sont aussi très présents : le marché de l'information sur la biodiversité se porte bien. On peut y mêler catastrophisme, sentimentalisme et romantisme. Quelquefois ces mélanges sont saisissants. C'est ainsi qu'on a pu entendre un journaliste sur une grande radio nationale s'esclaffer à la sortie du tribunal ayant conclu à un non-lieu pour le chasseur qui avait tué la pauvre Cannelle, ci-devant néo-course des Pyrénées : « Sale coup pour la biodiversité ! ». Même en toute sympathie pour la défunte, cette réflexion était hautement stupide. Cela étant, la mobilisation des médias peut être considérée comme positive, même si souvent les données livrées sont imprécises, voire complètement fausses, les faits très événementiels, peu digérés, ni mis en perspective et les confusions fréquentes. Cela est vrai aussi dans diverses manifestations publiques, parfois même lors de la fête de la science¹¹.

En résumé, la biodiversité donne lieu à une expression sociale forte, très multiforme et sans doute émanant principalement des classes « moyennes-supérieures » et des citoyens¹². Mais elle a la grande qualité de cristalliser les alertes et de les rendre visibles.

Les enjeux, les forces et les faiblesses des approches scientifiques, technologiques, économiques, sociologiques et politiques de la biodiversité

Le thème de la biodiversité est donc largement partagé, mais les discours à son propos sont divers ; ils sont souvent objets de mélanges des genres, comme dans l'exemple de Cannelle. Les difficultés sont grandes pour dégager le discours scientifique de toute empreinte idéologique et de ranger au titre du scientifique des arguments plus doctrinaires ou médiatiques. C'est une des réussites du Grenelle de l'environnement que d'avoir réussi à éviter ce type de dérive et d'avoir associé biodiversité et ressources vivantes. En revanche, on reste sur une vision plus écologiste qu'écologique. Sur le plan international, on est loin d'une activité du type GIEC, IMoSEB (International Mechanism of Scientific Expertise on Biodiversity), créé dans la foulée de la Conférence Internationale Biodiversité, Science et Gouvernance (2005), a été repris, fin 2008 et en 2009, pour faire émerger le projet d'IPBES (*Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) qui pourrait être concrétisé en 2010. Mais tout cela prend du temps. Pour la France, la FRB (Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité) et l'IDDRI (Institut du Développement Durable et des Relations Internationales) sont chargés de suivre ce projet.

¹¹ Par exemple, on a pu constater que pratiquement toutes les données citées sur des panneaux concernant la biodiversité, dans une exposition du sud de la région Rhône-Alpes, étaient fausses. Nous prenons beaucoup de soin à bien préciser la qualité des données que nous utilisons, mais il s'avère que l'on tombe souvent dans l'effet pervers de l'internet et du web, dans la mesure où toutes les informations sont mises à plat, il est difficile de juger de leur qualité. Tout un chacun peut en faire l'expérience et quelquefois s'y laisser piéger.

¹² On retiendra néanmoins qu'une fraction non négligeable provenant de la classe ouvrière (13%) a voté Europe Ecologie lors des dernières élections européennes (Les Echos, 10/06/09).

Notons enfin que la France jouit d'un avantage certain, mais aussi d'une responsabilité particulière, grâce à ses territoires d'Outre-Mer et à ses relations avec beaucoup de communautés scientifiques des pays du sud.

La contribution scientifique et technologique

D'abord, soulignons encore une fois, que, comme pour le climat, l'alerte sur la biodiversité a été le fait des scientifiques. De plus, ils ont fait évoluer singulièrement le concept.

Aujourd'hui, on peut dire que la question de la biodiversité et des ressources biologiques est triplement globale. D'une part, elle est posée à beaucoup de secteurs de la science, biologiques et non biologiques. Elle interpelle donc une large gamme de disciplines pour traiter de ses diverses facettes. D'autre part, dans les sciences de la vie elle constitue la deuxième question globale avec celle de l'évolution. Comme l'avait fait fort justement remarquer Robert Barbault, lors du lancement du Programme *Dynamique de la Biodiversité et Environnement*, en 1992, la biodiversité est un thème unificateur des sciences de la vie, on oserait ajouter « comme l'évolution ». Enfin, elle est aussi globale au sens planétaire, au même titre que les changements climatiques.

Cependant, bien qu'on ait noté que la biodiversité s'exprime à tous les niveaux d'organisation du vivant « *from gene to ecosystem* », pour reprendre le titre d'un des premiers ouvrages sur la question¹³, on en reste souvent aux « espèces », unité d'ailleurs taxonomique et non fonctionnelle, mais très populaire. L'approche est encore souvent statique et descriptive, bien que dès 1992, on parlait déjà de la « dynamique de la biodiversité ». Dans les sciences de la vie, elle relève encore et essentiellement du domaine de l'écologie, peu d'autres disciplines du secteur se sentent concernées, si ce n'est la génétique et l'écophysiologie.

Néanmoins, des progrès récents vont dynamiser à nouveau les recherches sur de nombreux sujets.

Biodiversité et évolution

Les liens sont de plus en plus clairs avec les recherches sur l'évolution. Même si les événements sont symboliques, le fait que l'année internationale de la biodiversité succède à l'année du 150^{ème} anniversaire de « L'origine des espèces » n'est pas neutre. C'est un facteur déterminant pour lier évolution et biodiversité, pour une meilleure compréhension de la vie, de sa dynamique, et de son organisation¹⁴. La biodiversité est un fait évolutif, c'est aussi une garantie d'évolution des systèmes vivants sur notre planète. Il y a lieu de renforcer les synergies entre sciences de l'évolution et sciences de la biodiversité et aussi de promouvoir un véritable enseignement de l'évolution au plus

¹³ Solbrig O.T., *From genes to ecosystems : a research agenda for biodiversity*. IUBS, SCOPE, UNESCO, 1991.

¹⁴ Reprenons ici la célèbre et toujours très actuelle phrase d'un des plus grands biologistes et évolutionnistes du XX^{ème} siècle, Theodosius Dobzhansky : « *Nothing in biology makes sense except in the light of evolution* ». C'est particulièrement vrai pour la biodiversité.

grand nombre de nos étudiants, notamment biologistes et d'intégrer le discours sur la biodiversité dans une vision évolutive.

Vers une théorie synthétique de la biodiversité

L'émergence d'une théorie de la biodiversité est aussi un facteur déterminant. Sur l'exemple des arbres des forêts tropicales, elle se fonde sur une conception « neutraliste », proposée par Stephen Hubbell (2001)¹⁵, à savoir que les paramètres démographiques de diverses espèces présentes sur un même territoire ne sont pas significativement différents. Cette théorie a été échafaudée pour expliquer le maintien d'une très grande diversité, sur le long terme dans un même espace, comme dans la plupart des grandes forêts intertropicales. Les améliorations récentes à partir d'analyses critiques et constructives complètent le schéma, à savoir l'introduction du filtrage environnemental et des mécanismes de dispersion aléatoire dans les écosystèmes, qui explicitent mieux la distribution spatiale et son origine¹⁶. On montre ainsi que les écarts par rapport à l'hypothèse neutraliste peuvent être expliqués par un tri local d'individus d'espèces différentes plus ou moins adaptées aux conditions elles aussi locales. La nature de ces conditions fait que les écarts avec la prévision théorique se détectent à petite et à grande échelle et non pas à moyenne échelle¹⁷. On notera que l'ensemble des individus d'espèces différentes, réunis dans un espace, mais très mélangés, établissent des relations conjoncturelles en fonction de leur distribution, souvent aléatoire, dans l'espace. Ils forment une « communauté ». Cette permanence de l'aléatoire dans ces structures spatiales, mais aussi dans de nombreux processus biologiques et écologiques, pose la question du « hasard » et des mécanismes le produisant. En effet, le hasard joue un rôle clé notamment dans la dynamique de la biodiversité et plus généralement dans celle de beaucoup de systèmes vivants, de la cellule à l'écosystème et cela de l'échelle des processus cellulaires à celle de l'évolution. Ainsi, pour les forêts tropicales, ce brassage aléatoire permanent explique l'extraordinaire hétérogénéité à petite échelle, par exemple le fait que des arbres voisins sont en général d'espèces différentes. C'est grâce à cette hétérogénéité, que la biodiversité est maintenue « en moyenne » sur le long terme et permet à ces systèmes vivants de résister à de grandes perturbations de l'environnement.

¹⁵ Hubbell S.P., 2001, *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton Univ. Press.

¹⁶ Cf., par exemple :

- Chave J., Alonso D., Etienne R. S., 2006, Comparing models of species abundance. *Nature*, 441, E1.

- Jabot, F., Etienne, R.S. & Chave, J., 2008. Reconciling neutral community models and environmental filtering: theory and an empirical test. *Oikos*, 117, 1308-1320.

- Pavé A. *On the Origins and Dynamics of Biodiversity: the role of Chance*. Springer (à paraître, 2010). Traduction et mise à jour du livre paru en 2007 : La nécessité du hasard. Vers une théorie synthétique de la biodiversité. EDP Sciences.

¹⁷ L'explication est simple : l'hétérogénéité environnementale s'exprime principalement à ces deux échelles : le contexte biologique en place et certaines variations édaphiques, à une échelle de quelques hectares, les variations bioclimatiques, par exemple le niveau des précipitations plutôt à grande échelle, celle des millions d'hectares. Entre les deux, les variations locales sont moyennisées, et les variations « régionales » ne sont pas encore détectables. Ce phénomène a bien été mis en évidence dans une thèse récente :

Jabot, F. *Marches aléatoires en forêt tropicale, Contribution à la théorie de la biodiversité*. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier (Toulouse, France), 2009.

En plaçant ainsi le hasard au cœur du vivant, certains parlent déjà d'une « révolution copernicienne » en sciences de la vie. Les équipes françaises travaillant sur le sujet et, pour l'écologie dans la zone intertropicale, notamment en Guyane, sont très bien positionnées sur le plan international. On se doit d'insister fortement sur le développement de cet aspect théorique qui seul, comme dans beaucoup d'autres domaines, permettra d'innover et de construire des modes et des techniques de gestion efficaces et génériques. Cette remarque est aussi une traduction de la maturité atteinte par l'écologie, et plus généralement par les sciences du vivant. Enfin, ces êtres vivants formant des communautés locales structurent l'espace, établissent des relations et ont des échanges avec le milieu dans lequel elles vivent. Il en résulte en particulier une action déterminante dans les transformations biogéochimiques. C'est l'un des sujets principaux de l'écologie fonctionnelle, sur la base d'ailleurs de laquelle la notion d'écosystème a émergé. Mais la représentation fonctionnelle et efficace de ces systèmes en compartiments, reliés par des flèches, donne l'illusion d'un système au sens de Bertalanffy ou au sens des sciences pour l'ingénieur où les compartiments sont identifiables en termes de sous-structures. La vision physiologiste d'un « super-organisme » participe également à cette image très structurée. Ce n'est généralement pas le cas des *écosystèmes naturels*. Les écosystèmes fortement structurés sont essentiellement d'origine ou sous influence anthropique, ou alors soumis à des « conditions extrêmes ».

Par ailleurs, la dimension génétique est essentielle. La génétique des populations déjà ancienne est l'une des disciplines les plus théorisées des sciences de la vie et où la modélisation y a très tôt acquis ses lettres de noblesse. Elle a, à la fois, contribué à la théorie synthétique de l'évolution et à fournir des outils pour de nombreux aspects pratiques, comme la sélection variétale (le lien entre évolution et sélection étant d'ailleurs consubstantiel, depuis l'ouvrage de Charles Darwin et les travaux fondateur de Sir Ronald Fisher, notamment dans les années 1910-1940¹⁸). La génétique des populations a donc vocation à participer à la construction d'un discours théorique sur la biodiversité¹⁹. Reste à renforcer le lien encore ténu avec l'écologie évolutive.

Dans le même ordre d'idée, la dimension moléculaire doit être affirmée, non seulement comme outil d'identification ou de phylogénie, mais aussi à travers ses mécanismes propres, notamment de modification du génome ou d'expression du message génétique. Encore plus que pour la génétique des populations, les liens avec

¹⁸ Fisher, R.A., 1918, The Correlation between Relatives on the Supposition of Mendelian Inheritance, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 52 : 399-433.

Fisher, R.A., 1930, *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford University Press. Cet ouvrage a été réédité deux fois : en 1958, par Dover, et en 1999 par Oxford University Press.

¹⁹ En France, il y a une excellente tradition dans le domaine depuis G. Teissier, Philippe L'Héritier et G. Malécot, ce dernier ayant été l'un des grands noms de la génétique mathématique des populations. Aujourd'hui, il existe quelques équipes solides à l'INRA, au CNRS et au MNHN. Pour ce qui concerne les aspects plus spécifiquement « biodiversité » et sa modélisation du point de vue génétique des populations, on peut retenir l'équipe de Denis Couvet au MNHN.

En définitive, il faut signaler la contribution fondamentale de la biométrie dans les études sur l'évolution et dans l'élaboration de sa théorie, ainsi que son rôle dans les progrès de la statistique, discipline souvent méconnue car reléguée au rang de technique de contrôle et les biométriciens perçus comme des pourvoyeurs de techniques.

l'écologie sont à renforcer, sinon tout simplement à établir. Dans ces deux registres, populations et moléculaires, le hasard et les processus qui l'engendrent, encore largement à identifier, jouent un rôle fondamental dans la dynamique de la biodiversité. Ces processus endogènes sont à la fois des produits et des moteurs de la diversification et de l'évolution des systèmes vivants.

Pour un renouveau de l'approche écosystémique

Ce qui vient d'être exposé montre que l'approche au niveau des écosystèmes est pertinente et même peut-être centrale. Elle doit en partie être repensée à l'aune des théories que nous venons d'exposer et du rôle du hasard dans leur fonctionnement spontané. Le lien avec les problèmes de gestion des territoires est immédiat. Ces problèmes sont prégnants avec l'augmentation de la pression anthropique ; ils le seront de plus en plus dans les années qui viennent. La recherche française peut y trouver, en plus, une situation d'opportunité grâce, d'une part, à la diversité des situations rencontrées sur le territoire national, outre-mer compris, et, d'autre part, à l'implication de sa communauté scientifique dans ces territoires et aussi dans les pays du Sud. On peut notamment citer le développement de dispositifs de terrain très interdisciplinaires dans des régions bioclimatiques, géophysiques, économiques et socio-culturelles très variées (par exemple, les zones atelier de recherche sur l'environnement, les observatoires et les stations de terrain en Antarctique et en Amazonie, le lien avec les problèmes de développement avec des implantations dans de nombreux pays du Sud, etc.). Un secteur à encourager fortement.

Technologies et démarches bioinspirées

L'expression d'un secteur de recherche en pleine émergence : les technologies « bioinspirées » ou les recherches « bio-guidées » ou « éco-guidées » qui regroupent l'ensemble des travaux utilisant les « modèles » du vivant pour imaginer de nouvelles directions de recherche et de développements technologiques : conception de nouveaux produits, par exemple de nouveaux médicaments à partir de substances naturelles biologiquement actives, de nouvelles technologies, par exemple inspirées de la mécanique des arbres, de nouveaux revêtements, par exemple des parois hydrophobes inspirées de la fleur de lotus, des drones, par exemple ceux qui miment le vol des insectes, de nouveaux algorithmes, par exemple les algorithmes génétiques, etc. On notera que si les chimistes et l'informatique s'impliquent dans cette logique, la contribution des Sciences de l'Ingénieur est encore timide, du moins en France. Dans le prolongement de cette approche, on peut faire le lien avec la biologie synthétique²⁰ qui peut nous mener, entre autres, à imaginer des solutions qui n'ont pas été « inventées lors de l'évolution ».

²⁰ La biologie synthétique, en imaginant comment on pourrait élaborer des systèmes vivants « nouveaux », est en fait un outil de réflexion sur la vie et non pas un sujet technologique visant à créer une xénobiologie terrestre et ne le sera sans doute jamais, ne serait-ce que pour des raisons éthiques et même plus prosaïquement par des limites scientifiques et techniques.

Gestion et aménagement des territoires

La gestion des territoires doit intégrer des préoccupations de préservation de la biodiversité et mobiliser, outre des écologues, des géographes, des économistes et des juristes. À titre d'exemple et pour ces derniers, signalons que des règles d'usage et de prélèvement du vivant ont été conçues et appliquées dans un certain nombre de pays, suite à leur signature de la CDB (Convention sur la Diversité Biologique), rédigée à l'occasion de la Conférence de Rio. Dans beaucoup de cas, comme au Brésil, ces règles s'avèrent trop contraignantes pour permettre aux scientifiques d'exercer leur métier. Un véritable travail de recherche interdisciplinaire, avec une forte participation de juristes et d'économiste, devrait être lancé pour établir de nouveaux cadres réglementaires « raisonnables ».

Les aménagements sont les éléments les plus immédiatement visibles de la gestion des territoires ; ils modifient directement les espaces et les paysages et ils ont donc des impacts en termes de biodiversité. Le dialogue doit se renforcer ou même simplement s'établir ou entre ingénieurs, responsables de ces aménagements, et spécialistes de la biodiversité pour intégrer la gestion de la diversité biologique dans la conception et la réalisation de ces aménagements, au même titre que c'est la cas actuellement pour les pièces archéologiques, tout en veillant quand même, encore une fois, à ne pas se doter de règles inhibitrices.

Gestion des ressources vivantes

La gestion des ressources vivantes reste un problème majeur, même si dans certains domaines elle fait de gros progrès, comme pour les ressources forestières. Comme nous l'avons déjà signalé, pour l'halieutique il est nécessaire de continuer à faire un effort spécifique tant dans la connaissance de la dynamique de la ressource que dans les aspects organisationnels, techniques et économiques du secteur. Pour ne prendre que l'exemple de la dynamique, l'on sait qu'elle est naturellement très variable et de façon irrégulière. C'est par exemple le cas de l'anchois du Pérou, ou encore de la sardine du Pacifique qui exhibe une dynamique intermittente²¹. L'un des problèmes est dans la nature et la qualité des données provenant essentiellement de la pêche. L'autre problème est dans certaines confusions entre les causes d'une raréfaction de la ressource observée à partir de ces données. Ainsi, la diminution de la taille des crevettes prises au large des côtes de la Guyane dans les années 1990 était due au changement de marché et non pas à une raréfaction de la ressource consécutive à une surexploitation ou à des perturbations de l'environnement ; il s'agissait de l'adaptation de la pêche consécutive au passage d'un marché nord-américain, demandeur de grosses crevettes, à un marché européen plus intéressé par des crevettes plus petites. Il est donc nécessaire de faire très attention dans l'analyse des causes à partir de données de la pêche. Cela étant, un prélèvement trop important de crevettes de taille moyenne

²¹ Cette dynamique a pu être analysée sur 2000 ans à partir de dépôts sédimentaires sur les fonds marins du large de la Californie. Cf., par exemple : Ferrière R, Cazelles B. (1999). Universal power laws govern intermittent rarity in communities of interacting species. *Ecology*, 80(5), 1505-1521.

risque de diminuer les effectifs des plus grosses. Encore là, il faut promouvoir des études interdisciplinaires et l'élaboration de modèles intégratifs ou de systèmes de modèles coopératifs.

Technologies du vivant

Les technologies du vivant ont fait d'énormes progrès ces 50 dernières années. Il ne faut pas oublier qu'elles sont anciennes et ont été longtemps empiriques. C'est le cas de la sélection variétale. Elles se sont ensuite fondées sur le décryptage des lois de l'hérédité, du développement de la génétique, avec ses aspects les plus récents : génétique moléculaire et manipulations génétiques, plus généralement tout ce qu'on peut ranger sous le terme « biotechnologies »²². D'une certaine façon, ces pratiques ont contribué à augmenter la biodiversité à l'usage de l'homme. Il n'est pas de notre propos d'en dire plus ici dans la mesure où des débats sur ces questions sont menés par ailleurs, tout en soulignant quand même qu'on voit l'émergence d'une écotechnologie et d'une ingénierie écologique sans doute moins sujet à critiques, du moins pour l'instant.

Biodiversité agricole

La diversité des **espèces et variétés cultivées ou élevées** est aussi une composante de la biodiversité et d'importance immédiatement vitale pour l'humanité. Rappelons que les terres à usages agricoles représentent 1,5 milliards d'hectares sur la planète et devront augmenter dans les prochaines décennies (accroissement de la demande alimentaire, changement des pratiques agricoles). Les impacts sur la biodiversité sont essentiellement liés à cette affectation des espaces à ces usages, bien nécessaire, notamment pour l'alimentation de l'humanité. Cependant, la diversité des espèces et surtout des variétés cultivées et élevées reste grande. En l'occurrence, l'homme est créateur de diversité, notamment par l'élaboration de variétés nouvelles par hybridation intraspécifique et interspécifique. Cependant, toutes ne sont pas cultivées, seules les mieux adaptées aux conditions locales sont conservées par les agriculteurs. La production de semence dans une logique industrielle a des effets sur la diversité des variétés agricoles ; les facteurs économiques jouent un rôle essentiel pour les choix stratégiques des entreprises (par exemple, coût de la diversification des productions comparée à la demande des consommateurs en matière de diversité alimentaire).

De leur côté, des centres de recherche agricole conservent de nombreuses variétés. Ainsi au Centre International d'Agronomie Tropicale (CIAT) de Cali en Colombie, une collection de haricot compte plusieurs milliers de variétés et la plupart des centres du Groupe Consultatif pour la Recherche Agronomique ont des collections analogues²³.

²² Par exemple, issu de la loi du 25 juin 2008 sur les OGM, le Haut Conseil des Biotechnologies, Présidé par Catherine Bréchnac, a vocation à organiser les débats et le dialogue sur ce sujet entre différents acteurs sociaux, dont bien évidemment des scientifiques. L'Académie des Technologies a créé une commission spécifique, très active, sur le sujet.

²³ Quelques références :

Enfin, la création d'organismes génétiquement modifiés est aussi un facteur de diversification, mais il est un peu tôt pour juger des effets sur la diversité des variétés cultivées et des incidences sur les autres espèces par transfert horizontal. Même si le problème est difficile et socialement sensible, un effort spécifique de recherche doit être fait, avec les précautions nécessaires et indépendamment de toutes contraintes idéologiques²⁴.

Modéliser la biodiversité

Il reste une grande question : **la modélisation globale de la dynamique de la biodiversité**, effort analogue à celui qui a été fait pour le climat. Un tel effort doit impliquer des équipes interdisciplinaires et être pensé au niveau international. Il nécessite simultanément de renforcer et de mettre en place des dispositifs de recueil de données sur le long terme, notamment des stations de terrain bien équipées et accueillant des programmes de recherche. Grâce aux observatoires mis en place par le département EDD du CNRS, repris par l'INEE, à ceux gérés par l'INSU dans le cadre des ORE (Observatoires de Recherche sur l'Environnement), puis des SOERE (Services d'Observation et d'Expérimentation pour la Recherche sur l'Environnement²⁵, en cours de définition) et aux implantations de terrain de plusieurs instituts, on dispose déjà d'une bonne infrastructure, mais qu'il s'agit de renforcer, de mieux coordonner et de pérenniser sur le long terme. Insistons une fois de plus sur l'avantage stratégique dont nous disposons, grâce aux territoires d'Outre-Mer et aux implantations scientifiques dans ces territoires. Par exemple, en Guyane, pour la forêt, plusieurs implantations sont remarquables de renommée internationale (notamment la station de Nouragues du CNRS, et le dispositif de Paracou, du Cirad et de l'INRA, en soulignant qu'il existe de fortes collaborations entre ces deux stations très complémentaires). Une attention

-La recherche agronomique française pour le développement. Évaluation des relations entre la recherche agronomique française et le Groupe Consultatif pour la Recherche Agronomique Internationale (GCRAI). Rapport du CNER (Michel Petit, Alain Pavé, coll. D'Ariel Crozon), la Documentation Française, 2005.

- Smale, M. (1995). *Ongoing Research at CIMMYT: Understanding wheat genetic diversity and international flows of genetic resources*, Part 1 of CIMMYT World Wheat Facts and Trends, Supp., Mexico, D.F.: CIMMYT, 40 pp.

- Simon, M. (1999). Les variétés de blé tendre cultivées en France au cours du XXe siècle et leurs origines génétiques, *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 85, No. 8, pp. 5-26.

- Le Buanec, B. (2006). Plant Breeding and Sustainable Agriculture, Myths and Reality, IPGI Newsletter for Europe, N°33.

²⁴ C'était le sens de la pétition lancée par 40 académiciens, le 10 novembre 2008 (Académie des Sciences, Académie des Technologies, et Académie d'Agriculture de France). On en trouvera le texte sur le site : <http://planete.blogs.nouvelobs.com/media/00/01/1384575829.pdf>

Par ailleurs, l'Académie des Technologies a organisé un débat très utile et constructif sur les OGM avec les ONG (débat de l'Académie des Technologies sur les OGM, 19 novembre 2008), qui a aussi montré que les débats pouvaient être dédramatisés.

²⁵ Nous nous permettons un petit écart de langage par rapport à la définition institutionnelle en écrivant « recherche **sur** l'environnement » et non pas « recherche **en** environnement », parce que l'environnement n'est pas une discipline, mais un objet de recherche. On peut dire recherche en biologie, en mathématiques, en physique, en chimie, etc., mais on fait des recherches sur l'homme, sur la drosophile, ... sur la géosphère, sur les semi-conducteurs, etc. Un problème récurrent d'ordre général est l'utilisation d'un langage le plus précis possible et non équivoque, surtout dans le champ scientifique. Sans être intégriste, un peu de rigueur ne nuit pas...

particulière doit aussi être portée à l'organisation et à la gestion des données, encore trop dispersée et ponctuelle, en impliquant des équipes de bioinformatique, un domaine, comme pour la modélisation, où la France excelle mais encore peu impliqué dans la problématique de la biodiversité, si ce n'est à travers celle du génome.

Enfin, s'il est souhaitable de promouvoir une vision globale de la biodiversité et il faut aussi l'articuler avec les échelles régionales et locales, non seulement pour l'acquisition des connaissances, mais aussi pour améliorer la décision, la gestion et l'implication des acteurs sociaux et économiques. Pour cela, il faut réfléchir en termes de modèles globaux, mais aussi envisager les moyens d'acquisition de données. Un effort est nécessaire pour imaginer comment faire les mesures et en déduire les données pertinentes, par exemple pour identifier et suivre l'évolution d'organismes, de populations, ou de communautés. Le suivi au niveau du terrain limite la portée des mesures. L'utilisation des moyens de repérage et de télédétection aérienne et spatiale, a déjà conduit à des résultats spectaculaires²⁶. Il faut envisager de les développer encore, par exemple pour l'identification à distance de l'appartenance d'individus à des espèces et, simultanément pour leur repérage géographique afin d'étudier la structure spatio-temporelle des communautés, notamment végétales²⁷, mais aussi de suivre les perturbations d'origine anthropique et les effets.

L'économie de la biodiversité

Un effort important a été fait pour développer les dimensions économiques de la biodiversité donnant pas lieu à des échanges marchands (cf. note 5). Dans ce domaine, des efforts importants restent à faire, notamment en matière de recherche. Par exemple, des travaux permettant une évaluation globale, incluant les aspects marchands, sont encore à développer. Or, nous avons des équipes qui ont une approche originale du problème et qui savent faire le lien avec d'autres branches du savoir, notamment les dimensions juridiques et éthiques.

Organisation de l'activité scientifique et technologique – forces et faiblesses du dispositif

Bien d'autres facettes font ou devraient faire l'objet de recherches actives, notamment en Sciences de l'Homme et de la Société, pour traiter des problématiques des

²⁶ Citons les données acquises pour l'étude des cycles biogéochimiques et le repérage des animaux utilisant des balises Argos ou des transpondeurs passifs (travaux des équipes d'Yvon Le Maho, CNRS e Université de Strasbourg et de Pierre Jouventin, CNRS).

²⁷ Des méthodes de terrain permettent déjà d'avoir des valeurs moyennisées au niveau local, par exemple, par l'analyse palynologique dans des sédiments, ou, plus récemment, avec les études moléculaires des fragments d'ADN récupérés dans les sols (cf. Les travaux récents de J. Chave et de P. Taberlet, CNRS, UPST et UJF), ou encore chimiques comme l'analyse des cires couvrant les feuilles des arbres et larguées dans l'air (travaux de Maureen Comte, Univ. Harvard). On peut ainsi avoir une idée de la composition spécifique sur quelques hectares, mais sans pour autant avoir la structure spatiale. Or pour élaborer une théorie « synthétique » de la biodiversité nous avons besoin de ce type de données. Rêvons un peu : le nombre d'arbres dont le houppier est observable par des moyens aéroportés ou orbitaux, c'est-à-dire constituant la canopée, de la forêt amazonienne et de l'ordre de 100 milliards, on pourrait imaginer suivre précisément la dynamique de cette forêt de l'échelle individuelle à l'échelle de l'ensemble du massif forestier et ainsi affiner les modèles de cette dynamique.

« relations homme-nature » impliquant l'archéologie, l'anthropologie, la sociologie, le droit et l'histoire. Des recherches très actives sont menées dans ces disciplines centrées sur la question de la biodiversité. Mais la communauté concernée est de qualité, mais encore limitée, il y a lieu de l'augmenter et pas forcément sur la base de recrutements, mais en convaincant la communauté que les problématiques de la biodiversité sont importantes et porteuses.

L'existence d'instituts finalisés préoccupés par la biodiversité (Cemagref, Cirad, Ifremer, Institut Pasteur, INRA, IRD) et d'une fondation dédiée à la recherche sur la biodiversité (FRB) est un atout pour la France. Il n'en demeure pas moins que le CNRS avec ses partenaires universitaires reste le principal acteur pour les aspects fondamentaux, par l'ampleur de la communauté scientifique impliquée dans le domaine, par sa qualité et pour l'organisation de la recherche interdisciplinaire. Enfin, le MNHN a une mission particulière sur les inventaires, les collections, la taxonomie et la systématique qui devrait être mieux identifiée, mise en œuvre et renforcée. L'organisation de la recherche sur l'environnement, au niveau national, au sein d'une **alliance** devrait constituer un atout supplémentaire.

Signalons enfin que notre Académie s'est déjà fortement impliquée dans l'organisation de ses travaux et de ses réflexions, notamment dans le secteur des biotechnologies, mais aussi dans la recherche outre-mer, en particulier et dans ce deuxième cas par l'organisation d'un colloque en Guyane (automne 2007), ayant donné lieu à une publication : *Développer et préserver - Technologies, Cultures, Environnement et Développement Durable*²⁸.

Les forces sont dans :

- Une communauté de recherche en France dont les performances ne cessent de s'améliorer depuis une vingtaine d'année (cf. par exemple, les résultats de l'étude bibliométrique de l'INEE, publiée en 2009), pour devenir une des premières au monde et se positionnant très bien en comparaison avec d'autres domaines scientifiques. Mais cette observation est aussi vraie au niveau international.
- Un terrain exceptionnel entre la France métropolitaine et les territoires d'Outre-Mer, avec déjà des implantations solides.
- Une diversité d'acteurs de la recherche abordant les diverses facettes de la question de la biodiversité.

Les faiblesses sont dans :

- L'organisation insuffisante des connaissances dans un domaine aussi multiforme, aggravée par l'effet dissipatif du web et des moteurs de recherche, livrant des « données brutes » non structurées, ni organisées, non consolidées ni

²⁸ Les actes du colloque sont téléchargeables à partir du site de l'Académie :

http://www.academie-technologies.fr/fileadmin/templates/PDF/Action_regionale/AT-En-Guyane_20SYNTHESE-C.pdf

validées donc de fiabilité douteuse et le plus souvent sans références à l'origine. On est presque dans le domaine de la rumeur, chacun peut en faire l'expérience.

- Une coordination à améliorer, la FRB peut y contribuer, pour la France ; au niveau international, il s'agit de créer un véritable GIEB, ce qui est en train de se faire avec le projet IPBES, mais il faut y veiller. La création d'une alliance pour la recherche sur l'environnement serait aussi un événement positif, si tous les organismes concernés sont bien impliqués, y compris ceux de la mer, et si le cadrage scientifique est solide²⁹.
- Une recherche, dans une tradition naturaliste et encore trop coupée en sous disciplines, qui reste souvent trop attachée aux détails de l'étude d'une multitude de particularités (étude d'un type d'organisme, voire d'un organisme particulier). Ce n'est pas avec la somme de ces détails que l'on construit un discours global. Par ailleurs, beaucoup d'écologues ignorent les mécanismes moléculaires et les molécularistes planent encore au dessus de l'écologie.
- Certaines disciplines essentielles, comme la systématique, sont en difficulté, en grande partie parce qu'elle n'on pas su, à une époque, renouveler leur problématiques, leurs techniques et même la structure de leur communauté (absence criante de cadre techniques), mais aujourd'hui s'en trouvent dotées (approches moléculaires, liens renforcés avec les aspects phylogénétiques, outils de la bioinformatique, notamment). Il y a lieu d'en tenir compte pour renforcer cette approche indispensable et cette petite communauté.
- Le développement de l'interdisciplinarité est un objectif essentiel, dans un domaine qui l'est devenu de fait par la multiplicité des angles d'attaque.
- Les moyens de la recherche, publique comme privée, à tous les niveaux du fondamental à l'appliqué, sont encore trop modestes vu l'importance du problème, même si un effort conséquent est en cours.
- La gêne occasionnée par le mélange fréquent entre, d'une part, des positions idéologiques de l'écologie politique et de diverses de ses expressions, et, d'autre part la pratique scientifique de l'écologie. Les deux sont bien sûr parfaitement honorables, c'est le mélange qui pose problème. D'une certaine façon, on retrouve ce qui se passe quand on mélange « religieux » et scientifique pour traiter de l'évolution : la Bible n'a aucun statut scientifique, si ce n'est celui d'un grand texte de référence de l'humanité qui peut être un objet d'études scientifique, « L'origine des espèces », de son côté, n'a, bien sûr, aucun statut religieux, mais est devenu l'un ouvrage majeur de la science.
- Le manque dramatique d'une grande action de modélisation de la dynamique de la biodiversité; à ce titre le programme phare "ECOSCOPE" proposé par la FRB,

²⁹ Une tendance actuelle est de travailler dans l'urgence permanente et de ficeler des arrangements institutionnels, avec des justifications socio-économiques sans référence à la nécessaire dimension scientifique. Comment mobiliser des communautés de chercheurs sur cette base ? Comment assurer un développement structuré et à long terme de cette recherche ? Comment assurer une bonne utilisation des moyens ? Les risques sont de dépenser de l'énergie et des ressources avec un faible retour en termes cognitifs et technologiques et de décourager les chercheurs et enseignants chercheurs qui n'ont même plus le temps de faire leur travail ou des les obliger à le faire de façon peu satisfaisante.

avec sa composante "modéliser et scénariser la biodiversité" doit être suivi de près.

- L'investissement insuffisant des scientifiques « académiques » dans les différents conseils scientifiques en liaison avec les politiques publiques (CSRPN, Parcs, réserves, etc.) et l'activité des ONG; ceci est essentiellement dû à la non prise en compte de ces activités dans les évaluations individuelles et celles des laboratoires.

Les aspects économiques, sociologiques et politiques

Osons, l'affirmer, le marché de la biodiversité, sous tous ses aspects (produits de l'agriculture, dérivés du secteur des médicaments, de la cosmétique, des matériaux, du tourisme, etc.) est sans doute le plus important de tous et devient primordial si on lui ajoute les évaluations des services des écosystèmes et de la biodiversité. Cela étant, la comptabilité globale n'est pas réellement faite tant est que ces divers secteurs sont évalués indépendamment et donc mal évalués globalement. Ce marché du vivant et de ses produits natifs ou dérivés mérite donc une attention particulière notamment du monde économique qui a souvent tendance à voir la biodiversité comme une affaire « d'écologistes ». *A contrario*, ces derniers, même les écologues scientifiques, ignorent trop souvent le monde économique et celui de l'entreprise, qui, pour beaucoup encore, sent « le soufre ».

Par ailleurs, l'expression sociale et parfois scientifique peut conforter cette vision. Par exemple, même si certaines de ces facettes sont évoquées dans le rapport du Groupe 2 du Grenelle de l'Environnement, la position reste très conservatrice, axée sur la préservation de la biodiversité et non sur le couple "valorisation – préservation". L'intitulé du rapport l'annonce d'ailleurs clairement : « Préserver la biodiversité et les ressources naturelles ». C'est bien entendu important et même essentiel, mais on est loin d'épuiser la question. Comment mobiliser le monde économique à partir d'une telle position, au demeurant essentielle mais insuffisante et presque uniquement sur la base d'une position morale, celle de l'« entreprise citoyenne » ? En revanche, le monde associatif se sent parfaitement concerné et c'est normal, il a été l'un des principaux acteurs de cette grande manifestation. En cela, le couplage entre le monde associatif, le monde politique, le monde économique et les chercheurs que tente la FRB grâce à son comité d'orientation stratégique mérite d'être encouragé et suivi.

Inversement, on observe souvent une trop grande espérance dans les « richesses » recélées dans la biodiversité et les savoirs traditionnels, au point que lorsque des chercheurs s'aventurent à essayer d'en détecter ils peuvent être traités de « biopirates » ; à ce sujet une situation très préoccupante émerge actuellement dans les territoires d'outre-mer.

Il n'en demeure pas moins qu'un grand progrès a été marqué ces dernières années par une prise en compte, par la sphère politique et quelquefois avant une véritable expression électorale, des problèmes d'environnement (création d'un SE puis d'un ministère dédié dès les années 1970 en France, plusieurs initiatives internationales

dans le cadre de l'ONU et de l'UNESCO, dès cette époque aussi). Pour la biodiversité, la réaction a été rapide, quelques années ont suffi pour qu'elle soit inscrite à l'agenda d'une grande conférence internationale et fasse l'objet d'une convention (Rio, 1992) puis d'un suivi régulier, de manifestations périodiques et d'applications nationales et régionales (exemple de la directive *Natura 2000* ou de la directive sur l'eau, de la même année, qui laisse une part non négligeable aux écosystèmes d'eau douce et à leur biodiversité). Dans sa dimension ressources biologiques, la biodiversité a très tôt fait l'objet d'une attention particulière. Par exemple, lors de la conférence de Rio, simultanément aux négociations sur la CDB (Convention sur la Diversité Biologique), un forum était organisé sur les forêts, leur exploitation, leur protection et le devenir des peuples de la forêt. Pour 2010, il s'agit de marquer tout particulièrement cette année mondiale de la biodiversité et de parler simultanément des ressources biologiques naturelles³⁰, vivantes et des produits issus du vivant.

On pourra aussi signaler les créations multiples de Parcs et d'aires protégées de statuts divers, très utiles mais nombreux, nécessitant une bonne coordination. Il se peut que les règles de gestion de ces territoires soient très restrictives et gênent considérablement, voire peuvent empêcher, le travail scientifique. Parmi les progrès à faire dans les actions futures, faciliter ce travail de recherche est une priorité. Par exemple, quand une aire protégée contient une station scientifique de terrain, ne pourrait-on pas doter la partie de cette aire indispensable aux chercheurs d'un statut particulier, avec, par exemple une application circonstancielle des règles de protection et prévue dans le plan de gestion ?

Notons également que la perception positive de la biodiversité, les discours souvent trop peu fondés sur une réalité, doit être relativisée : tout n'est pas bon pour l'homme dans la nature mais certaines espèces, qui lui sont néfastes, peuvent participer quand même au bon fonctionnement de l'ensemble ou avoir une valeur esthétique et affective. Nous sommes passés d'une réalité où ce qui n'était pas jugé bon, pouvait être exterminé, à une vision que nous avons qualifiée d'angélique où tout est bon. Parallèlement, le discours catastrophiste fait recette, on parle d'une érosion, dont l'ampleur reste à mieux évaluer, et maintenant d'une 6^{ème} grande extinction, sans mentionner que l'on voit ce qui disparaît ou ce qui est menacé et pas ce qui apparaît et en oubliant que dans la grande dynamique de la vie, c'est sa capacité de diversification qui est l'élément le plus remarquable. De fait, elle comporte en elle les mécanismes de cette diversification, notamment ceux qui engendrent le hasard producteur de la variabilité génétique, de la variabilité des formes, de l'hétérogénéité des populations et des peuplements. La biodiversité est ainsi une véritable assurance pour la vie et la vie dispose spontanément des assureurs, c'est-à-dire des mécanismes nécessaires à la production de cette biodiversité. En tout état de causes, la position doit être circonstanciée. Si on peut critiquer le discours catastrophiste, il ne faut pas non plus

³⁰ Les questions relatives à l'agriculture nous semblent devoir continuer à être identifiées et traitées par ailleurs.

être laudatif et envisager sérieusement les hypothèses, même celle d'une « grande extinction ».

Enfin, il faut pondérer voire recentrer les discours et les asseoir sur des connaissances et des données solides et non sur de l'événementiel et de l'émotionnel permanent. À ce sujet, il y a peut-être lieu de promouvoir une nouvelle éthique de l'information. La communication sur la biodiversité est un sujet sérieux et doit faire l'objet d'études et d'actions à développer solidement.

Recommandations

Suite à cet exposé, on peut faire quelques recommandations :

1. S'engager résolument, à travers de grandes initiatives, scientifiques, politiques et de communication, dans l'année mondiale de la biodiversité.
2. Soutenir l'effort de recherche en privilégiant les aspects conceptuels et globaux, de créer un grand programme de modélisation de la dynamique de la biodiversité en le confortant par des dispositifs de terrains et méthodologiques solides. Il est aussi nécessaire de mieux connaître les processus de diminution de la biodiversité, mais surtout, et c'est nouveau, d'identifier et d'étudier les processus de diversification où le « hasard » engendré par les systèmes vivants eux-mêmes jouent un rôle clé.
3. Œuvrer pour la constitution d'un « Groupe International d'Experts sur l'Évolution de la Biodiversité », actuellement appelé IPBES et le faire aboutir en 2010.
4. Rapprocher les mondes de l'économie, de l'entreprise, de la recherche et des associations pour élaborer un point de vue partagé sur la biodiversité, même s'il est minimal dans un premier temps. L'important est l'établissement du dialogue. À ce sujet, il nous semble que le Rapport de la Mission confiée à M. Jean-François Dehecq, Président du Groupe Sanofi-Aventis, peut servir de référence initiale³¹.
5. Élaborer un discours se fondant sur une réalité et non sur des impressions ou des émotions.
6. Examiner avec attention l'évolution la « biodiversité domestique » issues de la sélection variétale et des hybridations, voire de manipulations génétiques, notamment en ce qui concerne les espèces à intérêts agronomiques et forestiers.
7. Enfin, dans le cas de doutes majeurs sur l'évolution de la biodiversité dans certains territoires considérés de ce point de vue comme stratégiques, on peut envisager d'appliquer le principe de précaution en promouvant des mesures de protection. Mais il faut admettre dès le départ que cette décision peut être réversible au fur et à mesure que notre connaissance du problème évoluera.
8. Dans tous ces registres, développer des approches interdisciplinaires.

³¹ Comment faire de la valorisation des ressources naturelles, notamment de la biodiversité, un levier pour le développement économique de la Guyane ? Constats, rapport d'étonnement et recommandations. Ministère de l'Outre-Mer, 2008.

Propositions d'actions académiques concrètes

L'académie peut contribuer par une réflexion propre en son sein avec des « produits » comme des avis, des rapports et des communications (à préciser). Elle peut aussi être à l'initiative de trois colloques ou débats :

- Le premier sur les « technologies bioinspirées » (cf. plus haut le sens du thème et du terme).
- Le second et dans le prolongement de ses actions passées d'organiser en coopération avec le CNRS (INEE et Programme Amazonie), qui a déjà émis l'idée et la FRB, une série de manifestations, dont un colloque en Guyane, sur la « biodiversité en Amazonie ». Ce colloque pourrait se tenir au cours du dernier trimestre 2010 pour clore cette année. On peut envisager de proposer à des Académies sœurs (Académie des Sciences, Académie d'Agriculture) de participer à cette « aventure amazonienne ».
- Le troisième pourrait réunir des technologues des aménagements des de la gestion des territoires avec des spécialistes de la biodiversité.

L'académie des Technologie pourrait également conduire une prospective sur les outils d'analyse et suivi de la biodiversité et de mise en œuvre de l'ingénierie écologique, en comprenant par "outils" : les aspects théoriques, conceptuels et technologiques.