

# Où vont les sciences de la biodiversité ?

Par Pierre-Edouard GUILLAIN

Directeur de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité

et Jean-François SILVAIN

Directeur de recherche à l'Institut de recherche pour le développement (IRD), président de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB)

La perte de biodiversité est aujourd'hui confirmée, même si certains débats montrent la difficulté de tirer de ce constat les conséquences qui peuvent en résulter pour l'action humaine. Les sciences de la biodiversité se concentrent aujourd'hui fortement sur les mécanismes au travers desquels l'adaptation aux changements globaux se produit, et peut être accompagnée, et sur la définition de scénarios d'évolution plausibles redéfinissant les relations entre les sociétés et les écosystèmes.

## Un constat : la perte de biodiversité

Depuis de nombreuses années, les travaux scientifiques confirment, rapport après rapport, que la biodiversité qui nous entoure et avec laquelle nous interagissons est menacée, qu'elle s'érode à un rythme très rapide – en bref, que nous sommes entrés dans ce qui ressemble à une sixième extinction.

Le livre d'Elizabeth Kolbert, *La 6<sup>e</sup> extinction* <sup>(1)</sup>, rassemble et vulgarise les travaux de nombreux scientifiques qui ont documenté cinq mécanismes d'érosion de la biodiversité :

- la surexploitation des ressources : des grands mastodontes de l'âge préhistorique aux grands pingouins de l'Atlantique Nord disparus en 1844 ou à la morue, ou, aujourd'hui, du fait des dispositifs concentrateurs de poissons, les espèces sauvages utiles à l'homme ont été longtemps exploitées sans considération de leur renouvellement ;
- la pollution : selon Paul Crutzen, les usines d'engrais produisent aujourd'hui plus d'azote que l'ensemble des écosystèmes terrestres ne peuvent en fixer. Les résidus médicamenteux et autres micropolluants présents dans l'eau affectent les capacités reproductives de certaines espèces, et la pollution de l'eau ou des sols par les matières plastiques, par les intrants agricoles et les rejets de communautés urbaines toujours plus nombreuses constitue une menace à la fois locale et globale pour nombre d'écosystèmes ;
- l'artificialisation des espaces et la fragmentation des habitats : les liens entre la taille des habitats et la richesse de l'écosystème associé sont bien établis. L'étalement urbain, la création de nombreuses infrastructures linéaires, l'artificialisation des espaces, la déforestation

ou les formes d'agriculture très homogènes constituent des menaces pour les habitats naturels et des causes de leur fragmentation ;

- les espèces (végétales et animales) envahissantes : le commerce international (terrestre, maritime ou aérien) a mis en contact des espèces exotiques avec des écosystèmes qui n'y étaient pas préparés. Du frelon asiatique en Europe au champignon cause du syndrome du nez blanc chez les chauves-souris d'Amérique du Nord, à l'écrevisse américaine à pattes rouges dans les rizières chinoises ou à la renouée du Japon si répandue, autant d'espèces dont l'introduction dans un nouvel habitat où elles n'ont aucun prédateur peut causer énormément de dommages ;
- le changement climatique : la concentration de CO<sub>2</sub> et d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère contribue à l'acidification des océans ainsi qu'à des changements dans les conditions environnementales des écosystèmes, et des espèces qui s'adapteront trop lentement ou mal aux nouvelles conditions climatiques. La montée du niveau de la mer menace nombre d'écosystèmes littoraux souvent très riches en biodiversité.

Ces menaces sont malheureusement difficiles à réduire ; elles sont souvent une conséquence directe de l'activité économique humaine et, dans l'arbitrage que font les populations et les pouvoirs publics entre développement humain et préservation d'une espèce, la seconde n'a été jusqu'ici que rarement gagnante. Cela s'est traduit par une régression massive des populations de nombreuses

(1) KOLBERT (E.), *La 6<sup>e</sup> extinction* – Comment l'homme détruit la planète, La Librairie Vuibert, août 2015.

espèces et par des taux d'extinction définitive de 20 à 100 fois supérieurs à ce qu'ils étaient avant que ne se fasse sentir l'influence des humains.

Il est vrai que les politiques de préservation parviennent à maintenir de petites communautés : les pandas en Chine, le loup ou certains oiseaux en France, la grenouille dorée au Brésil, des grands fauves ou certaines espèces endémiques dans des zoos et des réserves. Mais la diversité génétique au sein de ces communautés peut être faible et ces espèces disparaîtront faute de soins prodigués par les hommes. Surtout, le constat fait par des scientifiques est celui d'un affaiblissement général des espèces existantes ordinaires : ainsi, les populations d'oiseaux spécialistes en France ont diminué de 23 % en 25 ans <sup>(2)</sup> ; l'augmentation de la mortalité des colonies d'abeilles a, quant à elle, atteint 30 % en 15 ans <sup>(3)</sup>.

Cette érosion du tissu vivant à l'échelle globale (mais on la constate aussi à l'échelle des paysages et des régions) a des conséquences pour le fonctionnement des écosystèmes et l'évolution à court et long terme de la biodiversité et, par voie de conséquence, pour le bien-être présent et futur des populations humaines, et de manière plus dramatique dans les pays les plus pauvres.

Nombre de travaux scientifiques continuent bien sûr à préciser ces changements, à en déterminer les causes, souvent multiples, à mettre en commun les observations faites et les connaissances acquises dans l'ensemble du monde, tout en continuant l'exploration de la biodiversité et d'espèces microscopiques grâce à de nouvelles technologies d'observation.

### Un consensus scientifique, mais des débats encore ouverts sur ces constats <sup>(4)</sup>

Comme en matière de climat, la science avance toutefois, mais de manière irrégulière et controversée : un courant biodiversité-sceptique est en train d'émerger en France, comme dans d'autres pays. Son discours tente de remettre en cause la validité du consensus scientifique sur l'érosion de la biodiversité et trouve écho auprès de nombre d'acteurs toujours prompts à considérer comme contreproductive la prise en compte de l'environnement.

En décembre 2015, un avis de l'Académie des technologies sur le thème « Biodiversité et aménagement des territoires » invoquait ainsi les incertitudes et certaines imprécisions pesant sur l'estimation des taux d'extinction des espèces pour suggérer d'« éviter toute interprétation hâtive, toute analogie faussement intuitive et toute imprégnation trop fortement idéologique ». Cet avis concluait que « l'exigence d'une prise en compte de la biodiversité pourrait devenir une entrave au développement économique et à la création d'emplois ».

Les arguments avancés par l'Académie des technologies apparaissent infondés sur le plan scientifique ou s'appuient sur une interprétation partielle de la littérature scientifique. Comme le souligne une position minoritaire au sein même de cette Académie, cet avis occulte la nécessité

de repenser le rapport des sociétés humaines avec leur environnement et de redéfinir le développement économique pour l'adapter au caractère limité d'un monde dont les ressources naturelles vivantes et matérielles sont en train de se réduire à un rythme très rapide (et qui seront de plus en plus sollicitées si l'humanité veut réduire son recours aux énergies fossiles).

L'apparition d'un tel courant biodiversité-sceptique en France témoigne, à sa manière, de l'acuité du problème et d'une prise de conscience des contraintes inéluctables que les réponses à apporter impliqueront pour certains acteurs du monde économique.

Tout comme cela fut le cas pour le climato-scepticisme, ce biodiversité-scepticisme tente de mettre en cause la pertinence et la rigueur des recherches menées jusqu'à présent par les acteurs des sciences de la biodiversité – au premier rang desquels se situe l'écologie scientifique. L'objet de cette dernière est d'étudier l'extrême complexité des interactions qui régissent les systèmes écologiques, et leurs conséquences à des échelles temporelles et spatiales très variées. Ces recherches s'appuient sur l'imposant cadre conceptuel de la biologie évolutive et de l'écologie théorique. Elles ont d'ores et déjà permis de réaliser des avancées conceptuelles et pratiques d'une portée considérable permettant une approche plus durable de l'utilisation des écosystèmes et de la biodiversité (par exemple, dans le cadre des pêcheries ou de l'agriculture).

Ce constat scientifique pose toutefois des questions éthiques majeures sur la nécessité d'un regard renouvelé sur les relations entre les humains et la nature <sup>(5)</sup>. Cette démarche, conformément à la pratique scientifique, s'est construite à partir d'une évaluation critique et contradictoire de faits, d'observations et d'expériences.

C'est dans un tel contexte de réévaluation constante de nos savoirs qu'il faut inviter les sceptiques non pas à cultiver et à promouvoir le doute, mais à contribuer à affermir nos connaissances en vue de trouver des solutions durables à des problèmes qui concernent *in fine* la pérennité et des sociétés humaines et de la biodiversité.

### Un consensus scientifique à instaurer dans le monde politique

Le débat sur les réponses à apporter à cette érosion de la biodiversité progresse au niveau international. Initiative d'inspiration française, la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) est une interface entre les mondes scientifique et

(2) <http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/indicateurs/evolution-des-populations-doiseaux-communs-specialistes>

(3) <http://www.inra.fr/Grand-public/Ressources-et-milieux-naturels/Tous-les-dossiers/Abeilles-pollinisation-biodiversite-pesticides/Declin-des-colonies-d-abeilles/%28key%29/1>

(4) Tribune, in *Le Monde* du 15 avril 2016 de Sébastien Barot, Jean-Louis Martin, François Sarrazin, Jean-François Silvain et Christophe Thébaud.

(5) SARRAZIN (F.) & LECOMTE (J.), "Evolution in the Anthropocene", *Science* 351, 2016, pp. 922-923.

politique, qui a vocation à jouer, dans le domaine de la biodiversité, le rôle que joue le GIEC dans celui du climat.

Sa mission est de dresser un état des lieux des connaissances scientifiques sur les sujets liés à la biodiversité et d'offrir aux décideurs une base robuste pour leur permettre de prendre des décisions pertinentes.

Quatre ans après sa création, l'IPBES a tenu sa 4<sup>ème</sup> réunion plénière en février dernier, à Kuala Lumpur (Malaisie). Près de 500 participants représentant les 124 États membres de la plateforme se sont réunis pour valider ses rapports scientifiques et approuver les résumés, destinés aux décideurs, des deux premières évaluations scientifiques de l'IPBES consacrées respectivement à « la pollinisation, aux pollinisateurs et à la production alimentaire » et aux « scénarios et modèles pour l'évaluation de la biodiversité ». Ces résumés ont fait l'objet de discussions entre les représentants des gouvernements et les scientifiques auteurs des rapports, sous l'œil attentif des parties prenantes.

Le rapport adopté sur les pollinisateurs, qui comporte plus de 800 pages écrites par 77 experts de différentes disciplines et de différents pays, démontre l'importance de la pollinisation pour la sécurité alimentaire mondiale, souligne les extrêmes dangers d'extinction qui pèsent sur les pollinisateurs et présente un ensemble de leviers d'action possibles assorti d'une évaluation de leur faisabilité. Il démontre notamment l'incidence néfaste des insecticides (dont les néonicotinoïdes) sur les pollinisateurs. Le résumé destiné aux décideurs en tire 22 messages clés, un ensemble de faits essentiels et surtout une palette d'outils pour l'action, dont les décideurs publics comme privés sont invités à se saisir.

Le sujet du second rapport, « Scénarios et modèles pour la biodiversité », va faire l'objet de la dernière partie de cet article.

## De nouveaux enjeux et de nouveaux champs pour la recherche

Les constats scientifiques que nous avons évoqués posent en effet deux questions :

- en quoi l'érosion constatée de la biodiversité menace-t-elle l'humanité ? C'est en effet à partir des conférences d'Al Gore, puis du rapport Stern montrant les risques et le coût de l'inaction en matière de changement climatique (confirmé par l'expérience physique de chacun), que le climat est devenu une préoccupation pour les opinions publiques et, donc, un champ d'action politique concrète. Pour la biodiversité, la prise de conscience débute : la pollution est aujourd'hui un sujet de préoccupation chez 49 % de nos concitoyens, l'extinction des espèces animales et végétales chez 29 %, des taux qui sont en progression régulière<sup>(6)</sup>. Répondre à cette inquiétude encore vague suppose d'étudier les mécanismes par lesquels l'érosion de la biodiversité aura des conséquences sur notre société.
- que peut-on faire pour ralentir la perte de biodiversité et, à défaut, pour nous assurer que les nouveaux écosystèmes résultant des changements globaux évoqués

(6) [http://www.greenflex.com/wp-content/uploads/2016/05/2016\\_GF-ETUDE-ETHICITY-2016-Livret.pdf?lp\\_redirect\\_1610=http%3A%2F%2Fwww.greenflex.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F05%2F2016\\_GF-ETUDE-ETHICITY-2016-Livret.pdf&vid=0&wpl\\_id=2247&l\\_type=wplid](http://www.greenflex.com/wp-content/uploads/2016/05/2016_GF-ETUDE-ETHICITY-2016-Livret.pdf?lp_redirect_1610=http%3A%2F%2Fwww.greenflex.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F05%2F2016_GF-ETUDE-ETHICITY-2016-Livret.pdf&vid=0&wpl_id=2247&l_type=wplid)

### ..... Rôle prépondérant de la plasticité .....

Des relevés individuels sur 47 années (1961-2007) dans une population de mésange charbonnière (*Parus major*) étudiée à Oxford depuis 1947, ont montré que sur une durée d'un demi-siècle, les mésanges ont avancé leurs dates de ponte en moyenne de 14 jours (Charmantier *et al.*, 2008 – figure 1.1, C). Les données sur l'abondance de nourriture dans la forêt ont

en moyenne, avancer leurs dates de reproduction pour rester synchrones avec l'abondance de nourriture et assurer la croissance de leurs oisillons (figure 1.1, D). Grâce à l'identification individuelle par baguage des mésanges charbonnières, cette étude portant sur près de 10 000 événements de reproduction a mis en évidence que cette adaptation est le fait d'ajuste-

ments individuels (Charmantier *et al.*, 2008). Chaque femelle a donc la capacité de changer sa date de ponte d'une année sur l'autre, en fonction de son environnement (température, luminosité, pluviométrie, longueur du jour, phénologie des arbres... – Visser, 2008 ; Bourgault *et al.*, 2010) anticipant ainsi la date de disponibilité de la nourriture.

ments individuels (Charmantier *et al.*, 2008). Chaque femelle a donc la capacité de changer sa date de ponte d'une année sur l'autre, en fonction de son environnement (température, luminosité, pluviométrie, longueur du jour, phénologie des arbres... – Visser, 2008 ; Bourgault *et al.*, 2010) anticipant ainsi la date de disponibilité de la nourriture.

précédemment nous laisseront une planète habitable ? Comment les espèces, les écosystèmes et les sociétés peuvent-ils s'adapter à ces changements ?

Ces deux questions ouvrent un même champ de recherche, qui porte, d'une part, sur les sources et les mécanismes de flexibilité (ce terme plus large est préférable à « capacités d'adaptation ») des espèces, des écosystèmes et des socio-écosystèmes et, d'autre part, sur la combinaison de ces mécanismes à partir de laquelle ébaucher des scénarios de biodiversité plausibles en fonction de divers paramètres.

Nous décrivons *infra* l'état des connaissances sur ces sources, avant d'en déduire une prospective pour la recherche (les lecteurs souhaitant approfondir ces sujets peuvent se référer à la Prospective proposée par la Fondation pour la recherche sur la biodiversité <sup>(7)</sup>).

Cinq grands mécanismes de flexibilité des socio-écosystèmes ont été identifiés. Nous nous bornerons ici à les identifier et à illustrer chacun d'eux au moyen d'un bref exemple.

### La plasticité phénotypique

La plasticité phénotypique d'un caractère génétique est la capacité pour des organismes de même génotype d'exprimer différents phénotypes de ce caractère en fonction de l'environnement. Elle peut être illustrée par l'étonnante capacité d'adaptation manifestée par les mésanges charbonnières au changement climatique <sup>(8)</sup>.

### L'évolution génétique

Le second mécanisme est l'évolution génétique. Le monde vivant est l'objet d'une perpétuelle évolution qui trouve son terreau dans ces modifications aléatoires du matériel génétique que sont les mutations et les recombinaisons chromosomiques. L'architecture génétique des caractères peut être plus ou moins complexe : nombre de gènes impliqués, interactions, effets épigénétiques. Au total, la vitesse de l'évolution génétique en réponse à une pression de sélection dépend de plusieurs facteurs, dont le contexte environnemental et le contexte génétique : la flexibilité génétique est une variable qui est elle-même susceptible d'évoluer.

Des changements génétiques rapides sont liés à la circulation dans les écosystèmes de substances toxiques nouvelles introduites par l'homme, d'une façon intentionnelle ou non (antibiotiques, pesticides, métaux lourds...). L'évolution sur quatre décennies de la résistance aux insecticides chez le moustique commun *Culex Pipiens* a été l'occasion d'étudier *in natura* la construction d'une adaptation génétique et son évolution au cours du temps. Cet exemple illustre les contraintes et les limites de l'adaptation par évolution génétique. Il en ressort aussi que plus l'effectif d'une population est grand, plus son potentiel adaptatif pourra être important.

Un des défis majeurs à relever est donc de préserver au mieux la source de flexibilité que constitue la variation génétique des espèces dans un contexte de changements globaux qui tendent à déplacer, à fragmenter ou à réduire leurs aires de répartition.

### La migration

Le troisième mécanisme de flexibilité est celui de la migration qui pousse les espèces à trouver des zones plus favorables à leurs cycles biologiques. Les migrations d'espèces vers le Nord figurent parmi les réponses les mieux documentées de la biodiversité au changement climatique.

Notre propre espèce ne fait pas exception, avec une proportion de plus en plus forte des migrations humaines liée aux changements globaux, et aux changements climatiques en particulier.

Sur le plan écologique, la pénétration de certaines espèces dans de nouveaux étages bioclimatiques est susceptible de menacer la biodiversité existante du fait d'une compétition autour de la niche écologique ou par effet de cascade sur les prédateurs et les parasites. Ainsi, la migration (vers le Nord) de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) affecte négativement le développement des chenilles du papillon protégé *Actias Isabellae*.

En revanche, les parasites des œufs de la chenille processionnaire ne semblent pas migrer au même rythme. C'est ainsi que les premières colonies de chenilles processionnaires ont fini par se retrouver en 2012 à seulement 800 mètres de Paris, cet insecte passant depuis lors du statut de ravageur forestier à celui de nuisance sanitaire urbaine pour l'homme comme pour les animaux domestiques.

### Le réarrangement des communautés

Le quatrième mécanisme de flexibilité biologique est celui du réarrangement des communautés. Les changements globaux sont défavorables à certaines espèces d'un écosystème, et plus favorables à d'autres qui, de ce fait, sont avantagées. Cette réorganisation modifie les interactions entre les groupes. Différents aspects de ces réarrangements ont été observés et reliés à la transformation des habitats et au changement climatique : ainsi, par exemple, un déclin du degré de spécialisation moyen des communautés d'oiseaux à l'échelle européenne depuis 1990 a pu être mis en évidence. Si la vitesse, la flexibilité et les conséquences de ces réorganisations demeurent peu connues, d'importants travaux se sont concentrés sur leurs projections probables, sous la forme de scénarios des assemblages futurs, en fonction de l'occupation des sols et du climat.

### La dynamique des stratégies, des savoirs et des pratiques dans les systèmes socio-économiques

Enfin, le cinquième mécanisme de flexibilité est la dynamique des stratégies, des savoirs et des pratiques dans

(7) [http://www.fondationbiodiversite.fr/images/documents/Prospective/prospective-adaptations-changements-globaux\\_web.pdf](http://www.fondationbiodiversite.fr/images/documents/Prospective/prospective-adaptations-changements-globaux_web.pdf)

(8) CHARMANTIER (Anne), « Plasticité et réponse évolutive de la phénologie des mésanges face aux changements climatiques », in RONCE (O.) & PELEGRIN (F.) (Ed.), Réponses et adaptations aux changements globaux : quels enjeux pour la recherche sur la biodiversité ?, Série FRB Réflexions stratégiques et prospectives, 2015, 72 p.

EFFET DE SUR	PLASTICITÉ PHÉNOTYPIQUE	ÉVOLUTION GÉNÉTIQUE	MIGRATION	RÉARRANGEMENT DES COMMUNAUTÉS	CHANGEMENT DES PRATIQUES ET SAVOIRS
PLASTICITÉ PHÉNOTYPIQUE		Evolution de la plasticité	Sélection sur la plasticité	Normes de réaction affectées par la présence d'autres espèces	Manipulation du phénotype via les conditions environnementales (p. ex. irrigation)
ÉVOLUTION GÉNÉTIQUE	Force de la sélection		Adaptation locale Maintien de la diversité génétique	Force et direction de la sélection	Gestion des ressources génétiques Sélection artificielle
MIGRATION	Plasticité de la migration	Evolution de la migration		Migration dépendante de la présence d'autres espèces (dont vecteurs de dispersion)	Migration assistée (p. ex. transplantations)
RÉARRANGEMENT DES COMMUNAUTÉS	Augmentation de l'indice de généralisme	Evolution des interactions Effets génétiques étendus	Séparation spatiale des espèces en fonction de leurs capacités migratoires		Diversification des cultures et plus généralement mutations des agroécosystèmes
CHANGEMENT DES PRATIQUES ET SAVOIRS	Ajustement des pratiques agricoles aux changements phénologiques	Efficacité des méthodes de lutte contre les pathogènes et les vecteurs (évolution de résistances)	Gestion des invasions biologiques Limites des zones de protection Déplacement des zones d'exploitation	Stratégies d'exploitation des ressources naturelles	

les systèmes socio-économiques. Le cas des populations humaines des rivières du sud de la Casamance, au Sénégal, illustre ce mécanisme : en dépit de la dégradation des conditions de la riziculture de mangrove, ces populations ont su tirer parti de leur insertion dans des systèmes économiques mondialisés (cultures alternatives de noix de cajou ou d'autres produits de niche) et d'innovations technologiques (pêche). Cet exemple illustre des stratégies actives de recherche de voies alternatives permettant de se projeter dans l'avenir. Avec d'autres, cet exemple pose la question du rôle des politiques pour donner aux populations la visibilité nécessaire et les inciter à rechercher (ou les soutenir dans leur recherche) des voies alternatives, tout en prenant en compte les risques liés à d'éventuels transferts de vulnérabilité.

### Sources de flexibilité : les axes de recherche pour les années à venir

L'état des lieux que nous avons dressé plus haut éclaire, en creux, les manques et les domaines à explorer par la recherche, qui peuvent être regroupés en quatre défis majeurs :

- Comprendre les processus de l'adaptation, celle des

communautés et des écosystèmes comme celle des sociétés humaines. Ce dernier point pose par exemple la question de l'adaptation institutionnelle : quels objectifs choisir, quels moyens pour les poursuivre et quel équilibre entre moyens contraignants (trames verte et bleue) et approches incitatives ?

- Étudier le couplage entre les sources de flexibilité décrites plus haut, qui étaient étudiées jusqu'ici séparément, voire par des disciplines différentes : comment les différents mécanismes s'articulent-ils entre eux, quels processus peut-on négliger au vu des échelles temporelles et spatiales ? L'interdisciplinarité est indispensable à la compréhension de ces interfaces.
- Proposer des indicateurs du potentiel d'adaptation : comment représenter la plasticité adaptative des caractères pertinents pour la réponse à apporter aux changements globaux, ou la capacité d'adaptation d'une population soumise à un nouvel environnement ? Cette plasticité et cette capacité d'adaptation peuvent être estimées grâce à une multitude d'indicateurs qui ne traitent ni des mêmes objets ni des mêmes échelles, et qui n'ont pas les mêmes propriétés. Peut-on aussi définir des indicateurs intégrant les interactions entre les différents mécanismes de flexibilité ?

- Intégrer ces sources de flexibilité dans des scénarios de biodiversité : les indicateurs pertinents ainsi dégagés peuvent être utilisés pour des modélisations et des scénarios prospectifs. Il apparaît, ce faisant, de nouveaux défis de modélisation liés au couplage et aux interactions, ainsi qu'aux changements d'échelles spatiale et temporelle. Enfin, la confrontation entre les résultats de tels modèles et les données réelles suppose de renforcer l'acquisition de données, et notamment les suivis à long terme sur de vastes étendues spatiales. La mise en cohérence des systèmes d'observation de la biodiversité paraît de ce fait essentielle à ces avancées théoriques.

En conclusion, l'effort de recherche devrait être accru pour combler les lacunes de connaissance que nous avons identifiées plus haut et pour comprendre les processus et les interactions multiples qui sont impliqués dans les réponses des organismes, des écosystèmes et des socio-écosystèmes aux changements globaux.

Enfin, deux autres voies de réflexion méritent d'être mentionnées :

- des exemples montrent que toutes les adaptations ou solutions qui visent à résoudre un problème causé par

ces changements globaux ne constituent pas nécessairement un progrès du point de vue de la biodiversité : ainsi, des robots pollinisateurs ne sauraient remplacer les abeilles. La connaissance des réponses spontanées du monde vivant et des sociétés humaines doit donc aussi gérer l'incertitude pesant sur les risques associés aux changements globaux et aux solutions spontanées.

- enfin, à défaut de tout connaître, les acteurs de la biodiversité s'intéressent de plus en plus à la façon dont les écosystèmes eux-mêmes peuvent être mobilisés pour renforcer les capacités d'adaptation des sociétés à travers des approches, telles que l'*ecosystem-based adaptation* qui a été mise en avant par différentes organisations d'envergure internationale ou, plus récemment, les solutions « fondées sur la nature » mises en avant par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), qui commencent à interroger les cercles politiques et scientifiques. Ces approches pourront sans doute apporter une contribution positive à l'équilibre futur des relations homme-nature, à la condition qu'elles se donnent pour objectif de rétablir le potentiel adaptatif et évolutif des systèmes naturels en s'appuyant sur les réponses adaptatives de la biodiversité pour relever les défis posés par le changement global.