



MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE



**VOLET RECHERCHE
DE LA
STRATEGIE NATIONALE SUR LA BIODIVERSITE
DOCUMENT DE PROSPECTIVE**

mai 2009

Rédacteurs du présent document de prospective pour le volet recherche de la Stratégie Nationale sur la Biodiversité :

Coordinateur :

Silvain Jean-François Président du Conseil Scientifique de la FRB, Directeur de recherche à l'IRD à Gif-sur-Yvette

Co-auteurs :

Babin Didier Chargé de recherche au CIRAD à Montpellier

Barbault Robert Professeur au MNHN à Paris

Bertin Philippe Professeur à l'Université Louis Pasteur à Strasbourg

Bodo Bernard Professeur au MNHN à Paris

Boude Jean-Pierre Professeur à Agrocampus ouest

Boudry Pierre Chargé de recherche à l'IFREMER à Brest

Bourgoin Thierry Professeur au MNHN à Paris

Boyen Catherine Directrice de recherche CNRS à la station biologique de Roscoff

Cormier-Salem Marie-Christine Directrice de recherche à l'IRD à Paris

Courchamp Franck Directeur de recherche au CNRS à Orsay

Couvet Denis Professeur au MNHN à Paris

David Bruno Directeur de recherche au CNRS à Dijon.

Delay Bernard Président de la fondation pour la recherche sur la biodiversité

Doussan Isabelle Chargée de recherche à l'INRA à Nice

Jaskulke Elisabeth GDF-Suez, groupe biodiversité du comité Environnement du MEDEF

Lavorel Sandra Directrice de recherche CNRS à Grenoble

Leadley Paul Professeur à l'Université Paris XI-Orsay

Lefèvre François Directeur de recherche INRA à Avignon

Le Roux Xavier Directeur de la fondation pour la recherche sur la biodiversité

Leriche Hélène Chargée de mission à la Fondation Nicolas Hulot

Letourneux François Président du comité français de l'UICN France à Paris

Los Wouter Professeur à l'Université d'Amsterdam

Mesleard François Coordinateur de programme pour la Tour du Valat à Arles

Morand Serge Directeur de recherche au CNRS à Montpellier

Schmidt-Lainé Claudine Directrice scientifique du CEMAGREF

Siclet Françoise Département LNHE, R&D, EDF à Paris

Verrier Etienne Professeur à AgroParisTech à Paris

PREFACE

Ce document de prospective scientifique constitue le nouveau volet "recherche" de la "Stratégie nationale pour la biodiversité", suite à une commande faite par le MESR à la Fondation pour la recherche sur la biodiversité, FRB, le 5 décembre 2008. Le précédent document avait été élaboré en 2004. Cet exercice stratégique concerne plus particulièrement la période 2009-2013 qui inclut l'actualisation de la SNB prévue pour 2010. Il doit identifier des grandes thématiques et des modalités d'action pour les 4 ans à venir, voire plus, et servira à définir les objectifs du plan d'action 2011-2012.

La FRB a été créée en Février 2008 suite au Grenelle de l'Environnement. Elle est une structure de coordination et de promotion d'actions multi-acteurs de la recherche sur la biodiversité. Elle reprend les actions antérieures des GIS Institut Français de la Biodiversité « IFB » et Bureau des Ressources Génétiques « BRG », auxquelles s'ajoute une mission particulière de partenariat avec les porteurs d'enjeux sur la biodiversité. Ce partenariat se fait au travers du Comité d'Orientation Stratégique (COS) qui est une originalité de la FRB. Le COS regroupe les porteurs d'enjeux du grand domaine de la biodiversité : ONG et associations, entreprises, gestionnaires d'espaces et de diversité biologique, politiques, acteurs du monde agricole, etc...

Pour répondre à cette commande, la Fondation a demandé à son Conseil Scientifique (CS) de piloter cette mise à jour en s'appuyant sur les communautés scientifiques dont il est issu et sur le COS. Ce travail permet d'avoir un document qui fournit non seulement des grandes lignes directrices de la recherche sur la biodiversité pour les années à venir, mais aussi des indications pour la mise œuvre de la "recherche-action" reconnue à ce jour comme indispensable. Tout en identifiant des questions importantes à ce niveau, ce document laisse un large espace au développement de la recherche fondamentale sur l'ensemble des champs de la connaissance, ce qui constitue une nécessité dans le domaine de la biodiversité compte tenu de la complexité du domaine.

La biodiversité est ici considérée au sens large, c'est-à-dire à tous les niveaux d'intégration de la molécule au paysage et à l'écosystème, sans oublier les représentations, savoirs et pratiques des communautés humaines. Les communautés biologiques sont considérées comme un élément essentiel de l'écosystème dont l'humanité fait partie à part entière avec un fort impact fonctionnel. Ce document prend aussi en compte le fait que de nombreux processus se déroulent au niveau local mais sont sous l'influence de facteurs de forçage globaux et que la résultante des processus locaux doit être intégrée à un niveau régional et global. La notion de paysage et de territoire est particulièrement importante pour prendre en compte les composantes naturalistes, physiques et humaines de la dynamique de la biodiversité.

La prospective prend en compte également les sciences de l'évolution qui sont indispensables pour mieux appréhender les mécanismes d'adaptation des espèces, des populations, des communautés et des écosystèmes aux changements globaux et pour évaluer, plus précisément qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, ce que représente

l'actuelle sixième extinction dans l'histoire de la vie sur terre. De plus, la prise en compte des concepts, des démarches analytiques et du potentiel explicatif des sciences de l'évolution est particulièrement pertinente à un moment où les théories créationnistes sont à nouveau mises en avant.

La perception des questions concernant la biodiversité a beaucoup changé depuis 2004 : c'est maintenant un enjeu de la plus grande importance au niveau mondial tant au niveau scientifique et technique que politique, social et économique ; c'est un des piliers du développement durable et la notion de protection est désormais associée à celle de gestion et de valorisation. En effet la biodiversité peut être considérée comme une ressource naturelle dont le mode de gestion fait qu'elle est ou non renouvelable. Il est admis que la dynamique des changements globaux et de la mondialisation a une incidence majeure sur celle de la biodiversité ; il convient donc de comprendre les mécanismes de forçage de cette dynamique pour tenter de la réguler.

Les ressources génétiques sont pleinement prises en compte dans cette prospective. L'enjeu est majeur, car, dans la logique du mandat de la FRB, issue de la fusion des GIS "IFB" et "BRG", l'objectif est ici de réduire les clivages entre la communauté scientifique « ressources génétiques » et les autres communautés scientifiques du champ biodiversité. Cette démarche doit notamment faciliter le rapprochement de l'écologie et de l'agronomie dans une perspective de développement durable, et stimuler le développement des réflexions sur les valeurs de la biodiversité.

Cette prospective scientifique prend en compte la place croissante de la biodiversité dans les stratégies politiques et socio-économiques. Elle a pour ambition de contribuer à la définition de stratégies de réponse par le développement de recherches finalisées et appliquées s'appuyant sur une recherche fondamentale de très haut niveau. La poursuite d'un effort de recherche fondamentale est indispensable pour ce champ disciplinaire où le manque de connaissances de base à la fois sur les composantes de la biodiversité et le fonctionnement des systèmes complexes conduit à des verrous scientifiques limitant souvent des actions raisonnées intégrant l'ensemble des composantes. Le défi est d'établir des passerelles entre les acteurs et les résultats des différentes approches scientifiques, chacune étant également légitime. De ce fait, cette prospective scientifique a en particulier pour ambition de parvenir à mieux associer des projets de recherche de haut niveau avec de la recherche-action dans un contexte où il est essentiel de pouvoir apporter des réponses aux questions des porteurs d'enjeux issus des divers domaines de la société. De telles approches devront être interdisciplinaires et élaborées par co-construction entre les acteurs de la recherche et les acteurs de la société civile. Pour réussir, cette démarche doit être associée au développement des interfaces science-société et science-décideurs, à des actions de formation et d'éducation et au développement des réflexions concertées pour la définition de politiques trans-sectorielles pour la biodiversité.

La réponse de la communauté scientifique s'appuiera sur de grands projets fédérateurs pertinents par rapport aux questionnements scientifiques majeurs énoncés dans le document, et aux attentes de la société. Cette réponse s'appuiera aussi sur la mutualisation et la pérennisation des moyens grâce à de grandes infrastructures de recherche. A cela il faut adjoindre l'ambition d'une plus grande

implication de la recherche française au plan européen et international au travers de grands projets tels que : Diversitas, le Global Earth Observation System of Systems « GEOSS » et son Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network « GEO-Bon », LifeWatch, Global Biodiversity Information Facilities « GBIF », Global Biodiversity Outlook, plans d'action mondiaux pour les ressources phytogénétiques et pour les ressources animales, ainsi que la participation renforcée aux réseaux Européens de gestion des ressources génétiques et au réseau des plateformes nationales biodiversité des pays européens EPBRS. Le principal défi international actuel est le développement d'une interface intergouvernementale science/décideurs (the Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services « IPBES »). Tel le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat « GIEC » pour le climat, l'IPBES aura pour ambition de mobiliser l'expertise pour aider les décideurs à mieux relever les enjeux de la biodiversité.

Enfin ce volet "recherche" de la "Stratégie française pour la biodiversité" ne prendra tout son sens que si des moyens financiers et humains à la hauteur de l'importance des enjeux y sont affectés. Ces moyens conséquents pourront être issus de redéploiements et un vaste plan pluriannuel devra être mis en place pour positionner plus fortement la recherche française dans le domaine de la biodiversité aux niveaux européen et international et répondre aux besoins nationaux. Le devenir de nos sociétés dépendant directement de l'investissement qui sera fait en matière de recherche et des actions mises en œuvre dans les années qui viennent, il faut arrêter de « jouer petit » en matière de biodiversité.

INTRODUCTION ET SYNTHÈSE DE LA PROSPECTIVE SCIENTIFIQUE

“Global warming may dominate headlines today. Ecosystem degradation will do so tomorrow.”

Corporate Ecosystems Services Review (2008)

BIODIVERSITÉ ET CHANGEMENT GLOBAL : DES ENJEUX DE PLUS EN PLUS INCONTOURNABLES POUR NOS SOCIÉTÉS

La biodiversité dans un monde anthropisé

Avec la révolution industrielle, la terre est entrée dans une ère nouvelle, appelée « anthropocène » par le prix Nobel de chimie Paul Crutzen. Cette ère, initiée il y a environ 150 ans, se caractérise par une influence majeure des activités humaines sur les grands équilibres biologiques, physiques et chimiques de la planète, que cette influence soit directe, comme par exemple le mode d'utilisation des terres, ou indirecte comme par exemple le changement climatique. En particulier, **la survie de certaines espèces, ainsi que la composition et le fonctionnement des communautés biologiques et des écosystèmes sont fortement marqués par l'empreinte humaine.** Par exemple, le taux d'extinction d'espèces à l'heure actuelle est estimé entre 100 et 1000 fois plus élevé que le taux moyen d'extinction qu'a connu jusqu'ici l'histoire de l'évolution de la vie sur terre et 10 à 100 fois plus rapide que n'importe quelle extinction de masse précédente (Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire, Synthèse sur la Diversité biologique, 2005). De nombreuses espèces sont aujourd'hui menacées, et de nombreux habitats remarquables abritant une biodiversité particulièrement riche sont très vulnérables face aux activités humaines. Les experts, comme le public informé, réalisent de plus en plus que ces espèces, gènes ou habitats risquent de disparaître avant même qu'ils n'aient eu le temps de simplement être inventoriés. Parallèlement, la diversité culturelle des sociétés humaines, au Nord comme au Sud, est également fortement affectée par les changements globaux.

Au-delà des chiffres de taux d'extinction d'espèces, qui ne font pas nécessairement l'unanimité dans la communauté scientifique, un large consensus existe sur le constat du bouleversement très général de la composition des communautés biologiques. Ce bouleversement est lié à des extinctions, apparitions ou changement de dominance d'espèces à l'échelle locale en réponse aux changements de mode d'utilisation des terres et au degré de fragmentation des paysages, à la présence d'espèces envahissantes souvent favorisées par les modes de transport développés par l'Homme, à la migration plus ou moins rapide d'espèces liée aux changements climatiques, etc. (voir encart 1). Les systèmes de production et la sélection de variétés végétales cultivées ou de races d'animaux élevés qui y sont associés modifient aussi significativement la composition des communautés biologiques, directement par création et gestion de biodiversité domestique et indirectement en influençant la biodiversité non domestique. Notre connaissance, encore très fragmentaire des processus adaptatifs des espèces et communautés, limite d'autant notre capacité à anticiper leurs réponses au changement global. Sur la

base des connaissances acquises, il est souvent **difficile de savoir quelles seront les implications du bouleversement actuel de la composition des communautés biologiques sur terre**, et quelles seront les caractéristiques des nouvelles communautés ainsi apparues, en termes d'équilibres biologiques, de fonctionnalité et services, ou de (ré)émergence de pathogènes par exemple. En effet, il ne faut pas oublier ici que les changements de biodiversité peuvent entraîner des déséquilibres aux conséquences négatives telles que l'émergence ou l'incidence accrue des pathogènes animaux et végétaux, des espèces envahissantes, des super-prédateurs, des espèces toxiques, etc.

La biodiversité, un capital vivant dont la valeur reste à reconnaître

En parallèle de ces bouleversements des équilibres biologiques, l'Homme sait aujourd'hui que la biodiversité est un patrimoine mondial à protéger pour des **raisons éthiques**, mais aussi un **capital naturel, tissu vivant de la planète dont dépend de façon importante l'ensemble des activités humaines**. Et la façon dont ce capital naturel a été jusqu'ici utilisé se résume trop souvent, en dehors du champ de la domestication des plantes cultivées et des animaux d'élevage ou de l'utilisation de certains microorganismes cultivés, à une exploitation de type « minier », ne prenant pas assez en compte la capacité de ce capital à se renouveler.

Cette propriété particulière de la biodiversité « ressource » conduit à compléter la vision « espèces et habitats remarquables à protéger » de la biodiversité, longtemps prédominante, par une vision « biodiversité ordinaire et fonctionnelle rendant des services écosystémiques à mieux valoriser et liée à des savoirs naturalistes et des pratiques à préserver » (voir encart 2). Ainsi, la production de plus de 80 % des espèces végétales cultivées en Europe dépend directement de la pollinisation par les insectes, pour l'essentiel des hyménoptères comme les abeilles. Il est en fait difficile d'imaginer un seul de nos repas auquel les insectes pollinisateurs ne soient pas directement associés ! De la même manière, la biodiversité des sols joue un rôle clé dans le recyclage des matières organiques et le maintien de la fertilité de ces sols. Pollinisation et maintien de la fertilité des sols sont deux exemples de 'services écosystémiques' rendus par la biodiversité. Ces services sont indispensables aux activités humaines, mais, très généralement, on ne leur attribue pourtant pas une valeur explicite notable en les considérant comme totalement gratuits. Plus encore, les différents services écosystémiques ne sont pas rendus par les mêmes composantes de la biodiversité. Ceci rend parfois difficile des choix à faire entre différents modes de gestion des systèmes en fonction des services attendus. On comprend donc pourquoi un nombre croissant d'études s'attachent aujourd'hui à analyser les relations existant entre biodiversité et services écosystémiques, ainsi qu'à identifier les valeurs morales, culturelles, sociales de la biodiversité, à en mesurer les valeurs économiques, et à traduire juridiquement ces différentes valeurs. Ainsi, une étude récente estime l'apport des insectes pollinisateurs aux principales cultures mondiales en 2005 à 153 milliards d'euros, soit 9,5 % de la valeur de la production alimentaire mondiale (Gallai *et al.*, 2009). On notera que si on n'utilise généralement pas le terme de « services écosystémiques » pour les ressources génétiques, celles-ci sont l'exemple même de services rendus à l'économie et à la société au travers de l'agriculture, de l'élevage, etc. ; et leur préservation amène aux mêmes réflexions sur les valeurs de la biodiversité (préservation de races locales par exemple). **Pour autant, un cadre solide pour caractériser voire quantifier les valeurs éthiques, culturelles et socio-économiques de la biodiversité et les traduire en termes juridiques manque encore largement.** Cette situation est

d'autant plus critique que la prise en compte de la biodiversité dans la société évolue. Les mécanismes de responsabilité s'ouvrent à une prise en compte élargie des conséquences des atteintes à l'environnement et à la biodiversité (voir le jugement rendu dans l'affaire de l'Erika et la loi du 1^{er} Août 2008 relative à la responsabilité environnementale), un marché de la compensation écologique pourrait se développer de fait en France, la protection de la biodiversité est un argument publicitaire, par exemple... Mais ces évolutions sont dispersées et manquent de cohérence et de référents scientifiques.

La biodiversité, un potentiel d'innovations à explorer

La reconnaissance croissante des valeurs de la biodiversité et de son rôle pour assurer des fonctions et des services écosystémiques se double d'**espoirs parfois très forts quant au potentiel d'innovation et de soutien aux activités humaines qu'elle peut offrir**. La question est ainsi posée de savoir dans quelle mesure la prospection et la valorisation durable de la large palette de molécules qu'a inventé la nature au cours de l'évolution offre un réel potentiel pour (ré)inventer des produits (fongicides, antibiotiques, nouveaux matériaux...) plus généralement pour aider au développement d'une chimie nouvelle et soutenir l'innovation industrielle. Une autre question est de savoir si une « agriculture écologiquement intensive » (ou « doublement verte ») est possible. L'enjeu est ici d'évaluer dans quelle mesure une meilleure intégration de la biodiversité dans le processus de production agricole peut rendre largement compatibles les objectifs de production agricole et de préservation de l'environnement, pour *in fine* répondre aux affirmations selon lesquelles il faut choisir entre nourrir la planète ou préserver la biodiversité. La prise en compte de ce potentiel d'innovations est indissociable des enjeux majeurs que sont l'appropriation et la brevetabilité du vivant, la mise en marché de la biodiversité, l'accès aux ressources biologiques (*sensu lato*) et le partage des avantages en découlant, la protection des savoirs, traditions et innovations des populations autochtones et communautés locales. Accompagnant ce mouvement d'innovations basées sur la biodiversité, de nouveaux modes d'aménagement des territoires sont proposés avec pour objectif de concilier activités humaines et biodiversité (la constitution de trames verte et bleue, par exemple) alors que de nouveaux types d'urbanisme repensent la biodiversité en ville.

Vers de nouveaux rapports Homme-Nature

Il est frappant de constater que ces démarches visent souvent à passer de la simplification / spécialisation de systèmes¹ à la complexification et la (re)mise en continuité de systèmes. Le développement et la mise en valeur d'espaces agricoles multifonctionnels en est un exemple, de même que l'élaboration de schémas permettant une continuité de la nature en ville, ou l'intégration des espaces terrestres ou marins protégés dans le tissu local des acteurs et de leurs activités. Ces rapports nouveaux qui se dessinent aujourd'hui entre Homme et Nature appellent au développement de procédés « High tech » de manipulation de systèmes écologiques (ingénierie écologique). Les stratégies de protection de la Nature ou de spécialisation des activités et des espaces qui ont longtemps dominé, privilégiaient la conservation en l'état de la biodiversité, se focalisant pour simplifier sur la biodiversité « ici et maintenant ». Les démarches évoquées ci-dessus, complémentaires des approches

¹ par exemple zones urbaines/espaces verts/campagnes ; espaces cultivés/espaces non cultivés ; monocultures sur terrain remembrés/bois ; aires marines protégées/zones de pêche...

de conservation traditionnelles, impliquent de **raisonner des dynamiques, des trajectoires, des taux d'actualisation, et des capacités de résilience et d'adaptation de systèmes couplés Homme-Nature (socio-écosystèmes) face aux changements globaux**, aux événements extrêmes futurs et aux enjeux politiques et socio-économiques présents et à venir.

Une expertise scientifique à mobiliser pour permettre les choix de société de demain

Dans ce contexte, il est nécessaire d'informer le plus précisément possible les différents acteurs concernés et le grand public afin d'améliorer leur compréhension du sujet, en particulier pour :

- **éclairer le débat portant sur les valeurs attribuables à la biodiversité ;**
- **donner la capacité de caractériser, de comprendre et surtout de modéliser et scénariser les changements à venir de biodiversité ;**
- **fournir des connaissances pour promouvoir l'innovation notamment par une meilleure intégration de la biodiversité dans l'ensemble des activités humaines et faire en sorte qu'elle soit source de progrès socio-économiques.**

Acteurs de terrain comme décideurs acceptent de plus en plus le fait que les connaissances scientifiques actuelles sont à la fois indispensables et souvent insuffisantes pour aménager une trame verte ou bleue, pour favoriser des activités agricoles ou industrielles durables, ou pour définir des seuils d'alerte en termes d'impacts des pêcheries sur les stocks de poissons, de disparition de populations ou de races locales, ou d'arrivée d'espèces envahissantes. Un besoin accru existe donc pour que l'expertise scientifique, tant nationale qu'internationale, soit utilisée au mieux dans ce contexte ; et que l'expertise nationale soit mobilisée en lien avec l'expertise internationale. Ce **besoin d'éléments de connaissance et de compréhension à destination des décideurs et de la société civile** se traduit notamment par une volonté de créer une interface intergouvernementale science/politique pour la biodiversité (IPBES : Inter-governmental science-policy Platform on Biodiversity Biodiversity and Ecosystem services). Force est de constater que jamais la demande n'a été aussi forte de disposer d'un tableau de bord de l'état du capital naturel de la planète, permettant d'en mesurer, en temps presque réel, le niveau, les tendances, les menaces associées et la fragilité. Plus encore, le besoin d'anticipation n'a jamais été aussi fort : car gouverner nécessite d'évaluer les périls et les impasses à éviter, et d'anticiper les opportunités à saisir ou à créer pour demain.

LE BESOIN D'UNE ACTUALISATION DE LA PROSPECTIVE SCIENTIFIQUE NATIONALE EN BIODIVERSITE

Objectifs de la prospective

La prospective développée ci-après a pour ambition de répondre aux questions suivantes : Quels sont les grands enjeux d'une stratégie de recherche en biodiversité pour la France et comment mobiliser la communauté scientifique française sur des bases pluridisciplinaires pour y répondre ? Comment raisonner au mieux et mettre en œuvre les partenariats à l'échelle de l'Europe et du monde ? Quels travaux de recherche sont à conduire prioritairement ? De quels grands outils et grandes

infrastructures la recherche en biodiversité a-t-elle besoin ? Quelles formations sont aujourd'hui à privilégier ?

Les réponses apportées aux questions ci-dessus s'inscrivent dans le contexte défini précédemment, face aux enjeux majeurs identifiés, et s'appuient sur les actions précédemment conduites par l'IFB, le BRG, les organismes de recherche et les différents acteurs présents au sein du COS de la FRB.

De nouvelles questions de recherche émergent, issues de la prise en compte croissante des changements globaux, de la mondialisation, de l'importance des services des écosystèmes et du potentiel d'innovations qu'offre la biodiversité aux activités humaines. Ceci implique la mise en avant de nouvelles priorités tant au niveau des thèmes de recherche que des outils d'organisation ou de coordination de la recherche. A côté de ces nouvelles questions, la recherche doit continuer à travailler sur des questions déjà identifiées et sur lesquelles elle a acquis des résultats importants, mais qui restent encore des défis d'aujourd'hui.

Les clés de lecture du document

Le présent document constitue la synthèse des réflexions menées durant le premier trimestre 2009 sur l'état des lieux, les enjeux et les perspectives de la recherche sur la Biodiversité en France dans un contexte d'ouverture croissante en direction de l'Europe et du monde. Le CS de la FRB, complété par des chercheurs issus du monde de l'entreprise et du milieu associatif ainsi que par la présidence du COS, a défini quatre axes de recherche prioritaires :

- Documenter (l'état de la biodiversité)
- Comprendre (les mécanismes qui agissent sur la dynamique de la biodiversité)
- Modéliser et scénariser (les changements de la biodiversité)
- Mieux intégrer (la biodiversité dans les activités humaines)

A ces axes a été ajoutée une réflexion transversale sur les valeurs de la biodiversité. Chacun des quatre axes se décline en 4 parties complémentaires :

- Enjeux et questionnements
- Situations française et internationale
- Verrous et opportunités
- Proposition d'actions, d'outils et de moyens

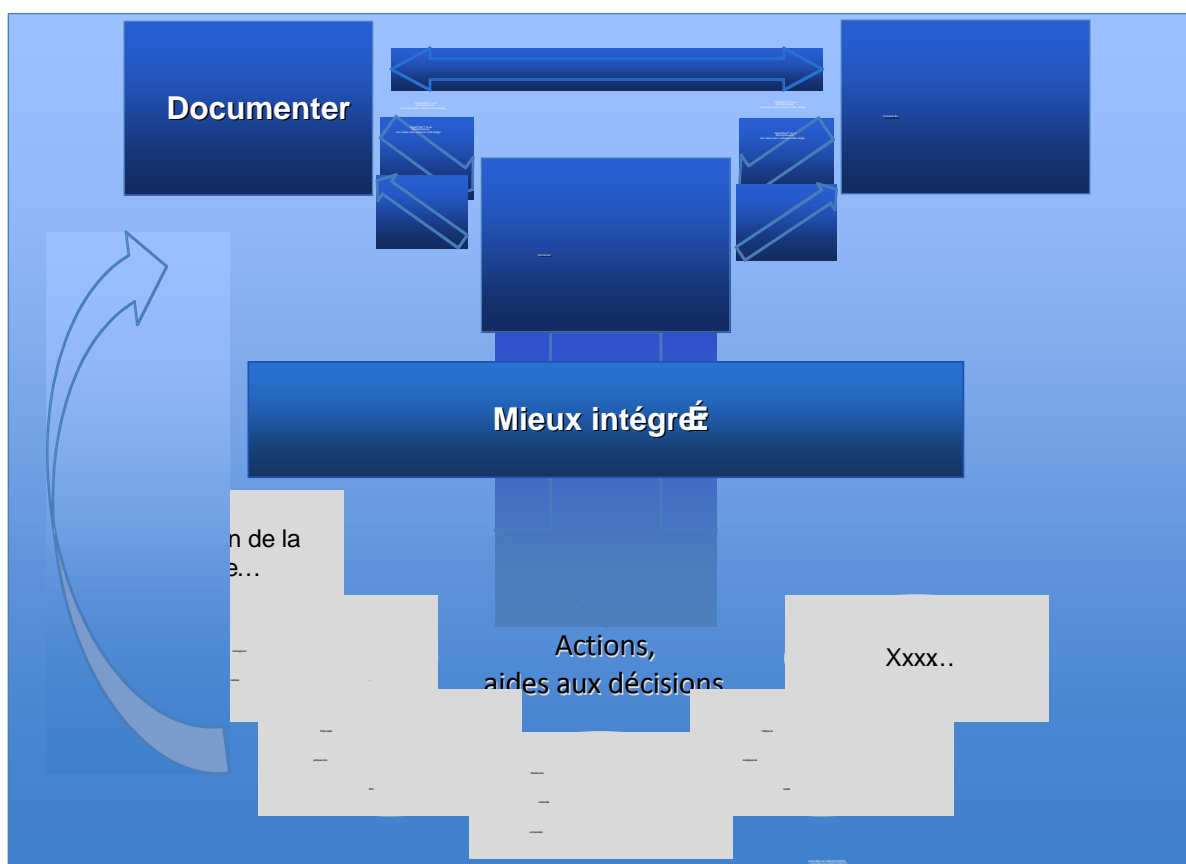
L'accent est mis ici sur les propositions d'actions et leur nécessaire accompagnement par des outils mieux adaptés et des moyens à la hauteur des défis scientifiques et sociétaux.

Comme l'illustre le schéma présenté en figure 1, ces axes ne correspondent pas à des activités indépendantes et cloisonnées, mais doivent être coordonnés entre eux dans une perspective de complémentarité, d'intégration et de rétroaction. Ceci est particulièrement vrai dans le cas du volet « Modéliser et scénariser » qui s'appuie nécessairement sur les données des volets « Documenter » et « Comprendre » et, dans le même temps, a un puissant effet d'interrogation en retour en direction de ces deux champs de recherche.

Ces axes permettent d'organiser une prospective de recherche qui soit en accord avec les grands enjeux scientifiques actuels et qui réponde au besoin qu'ont la société et ses décideurs de mieux comprendre les changements de la biodiversité, ainsi que les conséquences de ces changements sur le fonctionnement de notre société :

Organisation de la prospective de recherche :

- Prendre comme cadre de référence collectif et comme enjeu clé pour les recherches le concept de « valeurs de la biodiversité ».
- Faire converger des recherches portant sur la description de l'état et de la dynamique de la biodiversité ainsi que la gestion des données (« Documenter ») et sur la compréhension des mécanismes écologiques et socio-économiques pilotant la dynamique de la biodiversité et des services écologiques (« Comprendre ») vers une étape clé de modélisation des dynamiques de la biodiversité et de scénarisation de son devenir (« Modéliser »).



- Développer les connaissances pour une meilleure intégration de la biodiversité dans les activités humaines et le développement d'innovations, de façon à parvenir à une gestion durable de la biodiversité et des services écologiques (« Mieux intégrer »).

Figure 1 : Schéma et cadre de raisonnement résumant les interactions entre les axes prioritaires de la présente stratégie nationale de recherche en biodiversité

Le résultat : une série de propositions d'actions

Nous ne reviendrons pas dans cette introduction sur les enjeux, questionnements, verrous ou opportunités qui ont été analysés au sein de chacun des axes de ce document prospectif. Nous limiterons notre propos à une synthèse des actions proposées, en plus des recherches à développer sur la thématique des valeurs de la biodiversité (voir axe transversal « valeurs »), et de leur nécessaire accompagnement en termes de moyens et d'outils.

- Axe Documenter : renforcer les approches et les outils documentant l'état de la biodiversité

Cet axe met en avant le constat que l'on dispose aujourd'hui d'outils technologiques et méthodologiques puissants pour explorer de manière quasi-exhaustive et pour identifier les constituants des différents compartiments de la biodiversité (niveaux infra-spécifiques et spécifiques, organismes telluriques, organismes marins, biomes particuliers ou nouveaux, notamment dans l'Outre-Mer français). Ceci ne pouvait pas être fait de cette manière il y a encore très peu d'années. **Il convient d'être très ambitieux dans ces actions de documentation en considérant l'objectif d'exhaustivité comme un atout pour les travaux subséquents de modélisation.** Ceci peut d'ailleurs modifier notre perception de la biodiversité qui repose encore largement sur des espèces de grande taille et aisément observables, alors que la majorité du vivant est constitué d'espèces de petite taille qui ne retiennent souvent pas notre attention. La documentation de la biodiversité doit bien évidemment prendre en compte les fonctionnements éco- et socio-systémiques associés et l'identification précise des pressions qui s'exercent sur elle. Qui dit documentation dit bases de données et il apparaît ici indispensable de mieux constituer, coordonner, intégrer et rendre interopérables les bases existantes afin d'en faciliter la validation et l'utilisation. Si un effort est à faire en matière de documentation des différents constituants de la biodiversité et de gestion des données, on en vient naturellement à l'idée qu'**il faut à l'échelle nationale une structure inter-organismes qui permette la coordination des différents observatoires de la biodiversité qui existent ou sont encore à créer : c'est la notion « d'ECOSCOPE »**, reprise des halieutes pour être ici généralisée à l'échelle nationale. Un tel ECOSCOPE national devrait constituer une Très Grande Infrastructure de Recherche (TGIR) prioritaire qui s'inscrive dans une perspective d'intégration à l'échelle européenne et mondiale en profitant de la dynamique initiée par les projets tels que LifeWatch et GEO-BON notamment.

- Axe Comprendre les mécanismes écologiques et socio-économiques soutenant la dynamique de la biodiversité et des services écologiques

Il apparaît ici tout d'abord indispensable de mettre l'accent sur l'analyse des dynamiques couplées de la biodiversité et des écosystèmes, que ceux-ci soient naturels, gérés ou cultivés. Cela passe par un ensemble de manipulations et simulations expérimentales à différentes échelles spatiales, impliquant les facteurs physiques, les modalités de gestion, l'état qualitatif et quantitatif de la biodiversité, etc., s'appuyant sur des plates-formes de mutualisation des moyens gérées dans le cadre du TGIR ECOSCOPE. Dans ce même cadre national ECOSCOPE, et de manière complémentaire à ce qui précède, doivent venir s'inscrire des **sites d'observation à long terme des systèmes homme-environnement permettant observations et expérimentations pour étudier les couplages homme-milieu-**

biodiversité. L'analyse de ces interactions homme-écosystème devra notamment être conduite autour des systèmes nouveaux tels que les systèmes émergents (par ex. suite à invasion ou à recomposition en réponse au climat, aux pollutions ; ou plus généralement liés à une présence et un impact fort de l'homme) ; les questions d'ingénierie écologique ou d'équivalence écologique seront à promouvoir ici. Les liens existant entre services et biodiversité doivent notamment être étudiés de façon intégrée pour des services éminemment locaux (maintien de la fertilité des sols), exportables (tourisme vert) et globaux (séquestration du carbone), en gardant à l'esprit que l'entrée « écosystème », souvent privilégiée jusqu'ici, n'est pas nécessairement la meilleure ou la seule à prendre en compte. Par ailleurs, mieux comprendre la dynamique de la biodiversité sous-entend l'étude de la réponse individuelle des éléments constitutifs de la biodiversité aux changements globaux (déplacement, plasticité phénotypique, physiologique ou comportementale, adaptation génétique). C'est le domaine de la biologie de l'adaptation qui implique la prise en compte des processus évolutifs et celle des processus éco-physiologiques. L'étude des interactions entre organismes doit permettre d'appréhender la réponse des communautés à leurs changements propres et aux changements globaux. A ce niveau, il convient de tirer profit des développements récents de la génomique environnementale, de la protéomique, de l'écologie, ainsi que de la génétique appliquée au niveau du paysage, pour **analyser des processus adaptatifs rapides s'opérant sur des pas de temps courts et des échelles spatiales fines**. Les recherches relevant de cet axe doivent utiliser les avancées technologiques les plus innovantes dans les domaines de la biologie, notamment en matière de génétique, de la physique, de la chimie, de l'électronique et de l'informatique.

- Axe Modéliser et scénariser les changements de biodiversité

Un enjeu majeur pour la recherche sur la biodiversité est de parvenir à élaborer des scénarios de changements de biodiversité pertinents tant aux échelles du paysage et des écosystèmes, qu'aux échelles régionale, nationale et globale : des facteurs locaux ont un rôle déterminant sur la biodiversité globale et, réciproquement, la biodiversité locale dépend de facteurs globaux. Pour y parvenir, il convient de **constituer un réseau français coordonné de modélisateurs de la biodiversité qui pourrait prendre la forme d'un "Institut² de la modélisation de la biodiversité", structure sans murs fédérant les forces françaises dans ce domaine avec l'ambition de fédérer plus tard les forces européennes**. L'objectif est de développer des scénarios du futur de la biodiversité, intégrant notamment les couplages entre processus écologiques, génétiques, physico-chimiques, et socio-économiques. En plus d'être un lieu d'interface entre différentes approches de la modélisation de la biodiversité, qu'elle soit sauvage ou domestique, ce réseau interagira nécessairement avec les spécialistes de la modélisation du climat qui s'efforcent d'intégrer le vivant et les facteurs anthropiques dans leurs simulations. Il conviendra de **traduire ces scénarios du futur de la biodiversité en terme de devenir des services écosystémiques. Cet objectif sous-entend le resserrement des liens entre la communauté qui développent des scénarios de biodiversité et celles qui s'intéressent aux relations biodiversité / fonctions écosystémiques / services écosystémiques et l'amélioration de la**

² Le terme « Institut » est utilisé ici pour souligner l'ambition de ce projet ; la forme administrative que pourra prendre une telle structure reste bien évidemment à définir

représentation des fonctions et services écosystémiques dans les modèles de dynamique de la biodiversité. L'objectif appliqué sous-tendu par cet axe est (i) de pouvoir à terme utiliser les scénarios de biodiversité ainsi développés pour renforcer les liens entre la recherche et la gestion des ressources naturelles et (ii) d'intégrer l'utilisation des scénarios de biodiversité dans les politiques locales, nationales et internationales. Cet effort de modélisation et scénarisation de la biodiversité au travers de « l'institut de la modélisation de la biodiversité » s'appuiera tout naturellement sur le dispositif ECOSCOPE national, source de données disponibles et outil d'acquisition de nouvelles données relevant tant de la documentation que de la compréhension des processus. **La prise en compte au niveau politique des scénarios de biodiversité sous-entend à terme à l'échelle internationale la mise en place de l'IPBES.** Un autre enjeu important de cet axe est de progresser sur le plan théorique en attirant les spécialistes des systèmes complexes ainsi que ceux des mondes de la physique, des mathématiques et de l'informatique notamment.

- Axe Mieux intégrer la biodiversité dans les activités humaines et soutenir les innovations

La question est ici de savoir si la crise actuelle de la biodiversité est ou non inéluctable et, dans le cas contraire, comment peut-on la maîtriser ou la piloter en tenant compte du fait que la biodiversité doit être aussi considérée comme le support d'une nouvelle économie et une source de nouvelles (bio-)technologies. Une meilleure intégration de la biodiversité dans les activités humaines nécessite le développement de la recherche dans ce domaine et d'interfaces renouvelées entre acteurs de la biodiversité. Elle passe par le développement de nouveaux outils, méthodes et procédures de négociations, de délibérations, d'aide ou d'accompagnement de la décision. Cela demande de **repenser et organiser l'expertise scientifique française en biodiversité dans le cadre des processus de décisions publics et privés en favorisant aussi l'implication des scientifiques dans les négociations internationales et dans les futures instances d'évaluations régionales et mondiales.** La FRB constitue une de ces interfaces, pouvant aussi servir de base à une plateforme française science-société sur la biodiversité et les services écosystémiques en lien avec l'IPBES. D'une manière générale, des travaux interdisciplinaires au sein des SHS, et avec les autres disciplines pertinentes comme l'écologie, sont indispensables pour construire de nouveaux cadres conceptuels et normatifs, en s'interrogeant sur leur pertinence et leur caractère opérationnel et en explorant davantage le champ de l'éthique environnementale. La **question de la nature juridique, des concepts, catégories et régimes juridiques pertinents pour faire exister la biodiversité dans le système juridique** se pose comme une question de recherche pour les juristes et comme un élément déterminant de l'efficacité des politiques publiques. Le **développement de méthodes, outils et indicateurs des valeurs de la biodiversité** est aussi nécessaire. La **valorisation de la biodiversité comme source de nouvelles bio-technologie et support d'activités durables** passe par le développement et le renforcement de plusieurs axes de recherche (génomique environnementale, écologie chimique, microbiologie, etc.). Qui dit activités durables impliquant la biodiversité dit aussi procédures d'évaluation des risques et le développement de réflexions et recherches sur les conséquences d'un éventuel basculement fiscal favorisant la taxation de la consommation des ressources

naturelles. Mieux intégrer la biodiversité dans les activités humaines en limitant son érosion est un objectif qui passe aussi par le **développement des sciences de la conservation. Ce champ disciplinaire nécessite une réflexion sur son périmètre et ses concepts.** En effet, la protection des espaces, des espèces et de populations ou variétés particulières au sein de celles-ci, passe par une meilleure intégration des connaissances de l'état de la biodiversité, de son fonctionnement, de ses apports, des dynamiques réciproques entre diversité biologique et diversité culturelle et plus généralement des liens qu'elle peut avoir avec les sociétés humaines.

De l'ensemble des actions proposées, il est possible de dégager 10 points prioritaires, tels que présentés dans l'encart 3 à la fin de cette introduction. Nous avons regroupé ces propositions en 3 groupes :

- A) Les actions de recherche prioritaires qui, in fine, structureront fortement l'ensemble du domaine biodiversité car elles pourront en modifier les contours et la perception :** on y trouvera les recherches portant sur la modélisation et la scénarisation de la biodiversité, la notion de "valeurs de la biodiversité" et celle de "services écosystémiques", la biodiversité dans le développement durable au travers des nouvelles bio-technologies, ou comme source d'activités durables.
- B) Les actions de recherche essentielles pour lever des verrous majeurs pour ce domaine :** à côté du besoin d'une connaissance bien plus approfondie des compartiments de la biodiversité les plus mal connus, se trouvent la création d'une structure dite ECOSCOPE qui fédérerait les observatoires de la biodiversité, ainsi que des recherches sur certains mécanismes déterminant la dynamique de la biodiversité, avec une attention particulière portée aux processus adaptatifs.
- C) Les actions transversales impératives pour renforcer la pertinence et la cohérence de la recherche française en biodiversité,** avec : une stratégie volontariste pour organiser et développer l'interdisciplinarité ; le croisement des problématiques en fonction des zones biogéographiques, des milieux et du caractère sauvage ou cultivé des organismes considérés ; ainsi que la formation et l'expertise.

Il est important de souligner que ce texte de prospective nationale de recherche en biodiversité est largement en cohérence avec des textes issus d'exercices de prospective équivalents qui ont été menés récemment au plan international ou européen (par exemple, rapports Biodiscovery et Biogenesis de Diversitas ; rapport « Ecosystem services and biodiversity in Europe » de l'European Academies Science Advisory Council « EASAC », tous parus en 2009), tout en mettant en avant certaines spécificités du développement de la recherche française dans le domaine. Il convient cependant de noter deux réelles originalités du présent texte : la place importante et transverse faite à la recherche sur le thème des valeurs de la biodiversité d'une part (ce thème n'est pas mis en avant dans les textes cités ci-dessus) et celle faite aux besoins de recherche pour promouvoir l'innovation socio-économique ainsi que les besoins de mobilisation de la communauté scientifique pour répondre aux interfaces science/société qui s'expriment de plus en plus.

Ce document de prospective montre que relever les défis de la biodiversité nécessite sans tarder :

- la mise en œuvre d'actions phares et fédératives ;
- le développement de très grandes infrastructures de recherche (TGIR) permettant la mutualisation des moyens;
- l'émergence de projets de recherche innovants par co-construction entre recherche, entreprises et société civile;
- la mobilisation de l'expertise, notamment dans le but de construire une interface science/société pour la biodiversité

Il subsiste toutefois des verrous à un tel projet et à une telle ambition :

- Compte tenu de la nature même des objets étudiés, la marge d'incertitude des scénarios concernant l'évolution future de la biodiversité restera encore grande dans les années à venir. La communauté scientifique pourra, au travers du futur IPBES par exemple, apporter à la société des éléments prédictifs, mais le défi qui est ici posé à la recherche est, probablement, d'un autre ordre de grandeur en terme de difficulté par rapport à celui de l'estimation du changement climatique, qui lui-même influe sur l'évolution de la biodiversité. **Les moyens humains, technologiques et financiers à mobiliser doivent donc être à la mesure de cette difficulté.**
- Les recherches sur la biodiversité et sa dynamique future ont besoin d'un éclairage associant les disciplines des sciences de la vie, des sciences sociales et humaines et de l'ingénierie. Cette pluridisciplinarité indispensable est cependant difficile à mettre en œuvre du fait du partage encore partiel des mêmes concepts par des communautés scientifiques ayant des référentiels différents. **La généralisation d'approches pluridisciplinaires doit donc faire l'objet d'un effort particulier**, effort d'explication et de formation conjointe, de mobilisation de moyens ciblés et surtout de reconnaissance au travers d'un processus d'évaluation adapté des laboratoires et programmes pluridisciplinaires, ainsi que des chercheurs qui s'y impliquent.
- Le niveau et les modalités d'engagement de l'Etat dans ce domaine, qui devra non seulement (re)déployer des moyens à hauteur des enjeux, mais aussi **se doter d'outils pour mettre en œuvre et évaluer de façon trans-sectorielle les engagements et les résultats en matière de recherche sur la biodiversité.**

ENCART 1 : La biodiversité fortement marquée par l’empreinte humaine

Pratiquement tous les écosystèmes de la planète ont été profondément transformés par les activités humaines. Par exemple, 35 % des mangroves et 20 % des récifs coralliens ont disparu au cours des dernières décennies. Au cours du dernier siècle au moins, la conversion des écosystèmes à des fins agricoles ou autres a continué dans le monde entier. Cette conversion a été plus lente dans les régions comme les forêts méditerranéennes, où les terres les plus appropriées à l’agriculture avaient déjà été converties avant 1950 et où la majorité des habitats naturels avaient déjà été perdus. L’extinction des espèces fait partie du cours naturel de l’histoire de la planète. Cependant, le MEA estime qu’au cours des 100 dernières années, les êtres humains ont multiplié le rythme d’extinction par au moins 100 par rapport au rythme d’extinction naturel (Figure X1). Le rythme d’extinction actuel semble beaucoup plus important que le rythme auquel de nouvelles espèces apparaissent, ce qui engendre une perte nette de biodiversité.

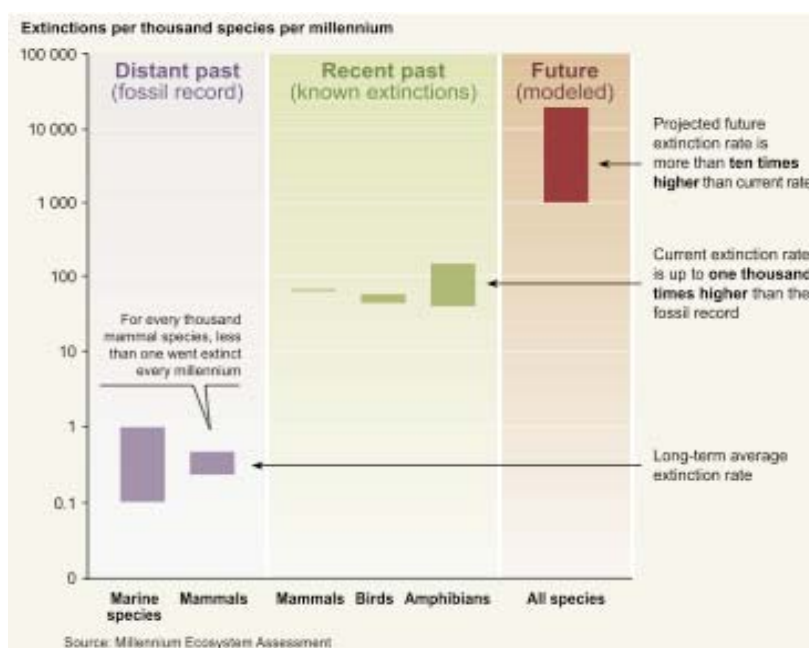


Figure 1.1. Taux d’extinction estimés d’espèces lors des temps géologiques, pour la période passée récente et pour la période à venir. Pour le détail des méthodes d’estimation, voir le rapport Biodiversity synthesis du Millenium ecosystem assessment (2005).

Selon la liste rouge de l’UICN, entre 12 % et 52 % des espèces appartenant à des groupes bien étudiés (conifères, cycadées, amphibiens, oiseaux et mammifères) sont menacées d’extinction. D’une manière générale, les espèces les plus menacées sont celles qui se trouvent assez haut dans la chaîne alimentaire, ont une faible densité de population, vivent longtemps, se reproduisent lentement et vivent à l’intérieur d’une zone géographique limitée. Au sein de nombreux groupes d’espèces, comme les amphibiens, les mammifères africains et les oiseaux des terres agricoles, la majorité des espèces ont connu un déclin de leur population, de leur répartition géographique, ou des deux. Les exceptions sont presque toujours dues à des interventions humaines, comme la protection dans des réserves, ou au fait que certaines espèces ont tendance à prospérer dans les paysages dominés par l’homme.

En France, les indicateurs « Oiseaux communs », qui se basent sur la variation relative de l’abondance de leurs populations, sont très utiles pour quantifier les effets de l’homme sur la biodiversité. Ces indicateurs montrent qu’entre 1989 et 2001, les 89 populations d’oiseaux communs prises en compte auraient globalement régressées de 14%. Ces données soulignent que 27 espèces sont en déclin, 14 sont à surveiller, 40 sont stables et 8 augmentent. Le regroupement des espèces d’oiseaux par milieu permet de préciser la vulnérabilité des espèces (Figure X2).

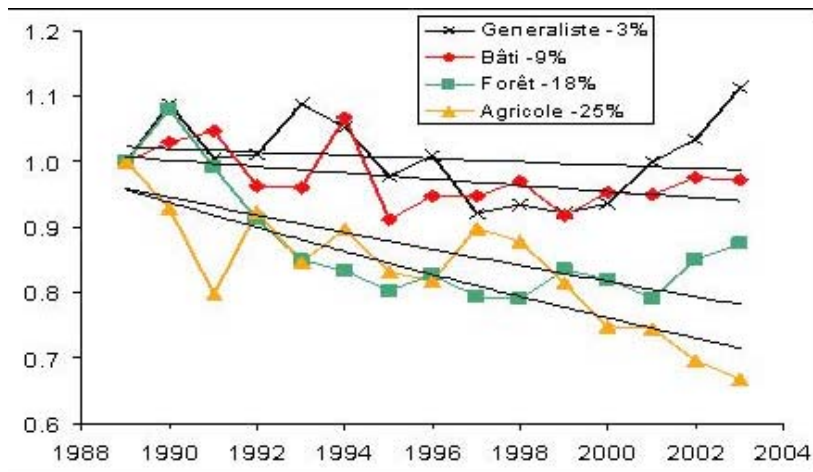


Figure 1.2. Les espèces d'oiseaux communes en France peuvent être regroupées en fonction de leur degré de spécialisation vis-à-vis de certains habitats – milieux forestiers, agricoles et bâtis. Les résultats (pour la période 1989-2003) montrent que les espèces spécialistes subissent un déclin plus important que les espèces généralistes (ces dernières subissent seulement 3% de baisse entre 1989 et 2003). D'une part, ils soulignent le déclin des espèces agricoles (- 25%) et des espèces forestières (- 18%) et d'autre part, la relative stabilité des espèces spécialistes des milieux bâtis (- 9%).

Depuis 1960, l'intensification des systèmes agricoles, conjuguée aux effets d'homogénéisation de la mondialisation, a entraîné une réduction importante de la diversité génétique des plantes et animaux domestiques. Aujourd'hui, si des efforts sont conduits pour maintenir un bon degré de diversité génétique à l'intérieur des grandes espèces utilisées directement en agriculture, un tiers des 6 500 espèces domestiques sont menacées d'extinction du fait notamment de leur sous utilisation.

Sources : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv>; et www.greenfacts.org

ENCART 2 : Etat, fonctions, services et valeurs de la biodiversité

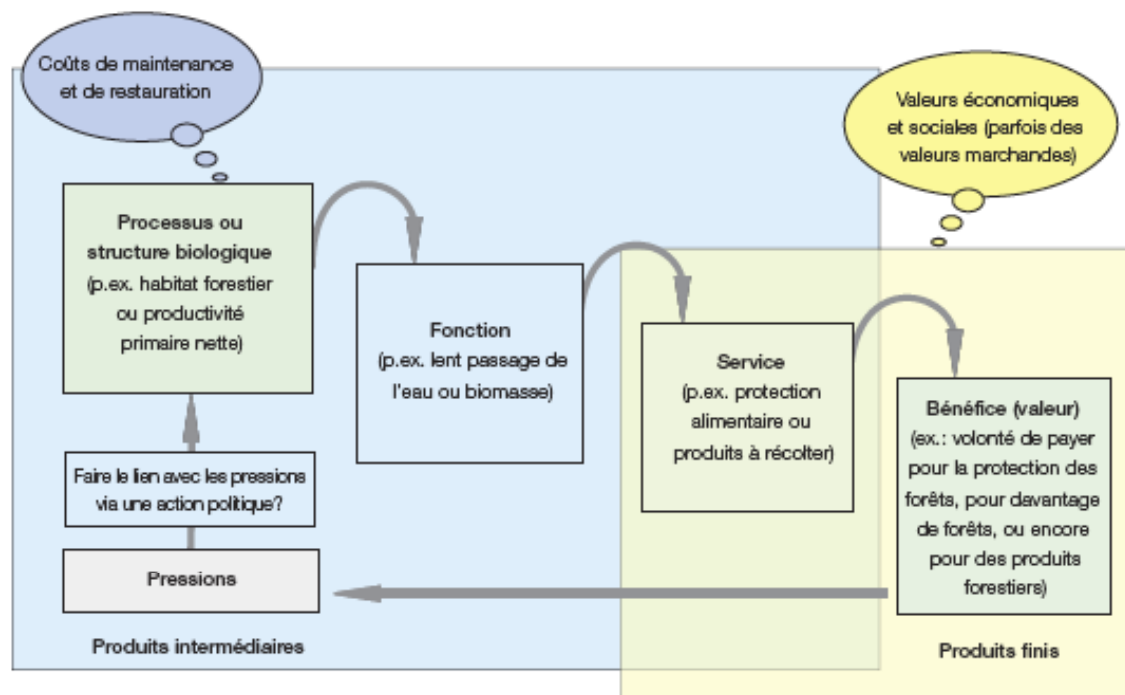
La biodiversité : C'est la diversité des formes de vie dans un écosystème ou un biome donné ou encore à l'échelle de la planète. Le terme fait référence non seulement à la diversité des organismes, symbolisée par la notion de diversité spécifique, mais aussi à la diversité de leurs gènes, de leurs traits de vie, de leurs comportements et de leurs interactions. Le terme fait aussi référence à la diversité des écosystèmes qui rassemblent ces organismes.

Les fonctions écologiques assurées par la biodiversité : Il s'agit des fonctions écologiques qu'accomplissent un, ou plus généralement plusieurs organismes vivants à l'échelle d'un écosystème particulier. Cela inclut par exemple l'assimilation photosynthétique du carbone par les végétaux, la décomposition et minéralisation des matières organiques par les organismes du sol, ou la pollinisation des plantes à fleurs par les insectes.

Les services écosystémiques fournis par la biodiversité : Il s'agit des bienfaits que les hommes obtiennent des écosystèmes. Ceux-ci comprennent les services d'approvisionnement tels que la nourriture et l'eau, les services de régulation tels que la régulation des inondations et des maladies, les services culturels tels que les bénéfices spirituels, récréatifs et culturels et les services de soutien qui maintiennent des conditions favorables à la vie sur Terre, tels que le cycle des éléments nutritifs. Un service tel que la séquestration du carbone par les écosystèmes forestiers est sous-tendu par différentes fonctions écologiques (photosynthèse, respiration, décomposition...).

Valeurs de la biodiversité : Importance qu'accordent les sociétés humaines à la diversité des formes de vie ainsi qu'aux services rendus par la biodiversité. Ceci inclut des considérations morales ayant conduit à une volonté de protection de la biodiversité, et des tentatives pour quantifier de façon monétaire à la fois les formes de vie et les fonctions et services qu'elles assurent pour les activités et les sociétés humaines.

Les relations entre biodiversité, fonctions écologiques, services écosystémiques et valeurs peuvent être schématisées de la manière suivante :



Source: Roy Haines-Young, présentation par J.-L. Weber lors du séminaire «Global Loss of Biological Diversity», 5-6 mars 2006, Bruxelles

Figure 2.1. Liens existant entre caractéristiques de la biodiversité, fonctions écologiques, services écosystémiques et bien être humain (d'après le rapport « L'économie des écosystèmes et de la biodiversité», 2008).

ENCART 3 : Synthèse des priorités de recherche dégagées en 10 points

De l'ensemble des actions proposées dans le présent texte de prospective scientifique, on peut dégager dix points prioritaires, qui s'organisent en trois catégories :

TROIS ACTIONS DE RECHERCHE PRIORITAIRES QUI, IN FINE, STRUCTURERONT FORTEMENT L'ENSEMBLE DU DOMAINE BIODIVERSITE, CAR ELLES POURRONT EN MODIFIER LES CONTOURS ET LA PERCEPTION :

Action 1 : Renforcer et fédérer la recherche sur la modélisation et la scénarisation des dynamiques de la biodiversité, car la pertinence et la crédibilité de la recherche en biodiversité seront largement évaluées en fonction de la manière dont elle saura répondre aux attentes des décideurs de pouvoir disposer de scénarios sur la dynamique future de la biodiversité, à différentes échelles, qui intègrent la notion d'incertitude. Ceci requiert de relever les enjeux de la modélisation des systèmes complexes, et de **développer un réseau français coordonné de modélisateurs des changements futurs de la biodiversité sous la forme d'un Institut de modélisation de la biodiversité.**

Action 2 : **Promouvoir la recherche sur les services écosystémiques et les valeurs de la biodiversité, deux concepts clés qui joueront un rôle essentiel dans la prise en compte de la biodiversité par les sociétés humaines dans les années à venir.** Ceci implique de continuer à analyser et mieux comprendre les relations biodiversité-fonctionnement-services des écosystèmes ainsi que les processus d'attribution de valeurs à la biodiversité. Ceci implique également d'améliorer la représentation des fonctions et services écosystémiques dans les modèles et scénarios de dynamique de la biodiversité.

Action 3 : Développer les **bases scientifiques pour l'innovation dans le champ de la valorisation de la biodiversité comme source de nouvelles bio-technologies et dans celui de l'utilisation de la biodiversité comme support d'activités durables.** Les domaines concernés sont vastes et concernent les ressources génétiques, l'écologie chimique, l'ingénierie écologique, le biomimétisme, etc. Créativité et rigueur doivent être ici de mise, en évaluant le potentiel réel que la biodiversité peut offrir aux activités et sociétés humaines à l'avenir.

TROIS ACTIONS DE RECHERCHE ESSENTIELLES POUR LEVER DES VERROUS MAJEURS POUR CE DOMAINE :

Action 4 : **Renforcer la connaissance des compartiments de la biodiversité les plus mal connus** afin de fournir, tant aux échelles locales que globales, des données pertinentes à la démarche de modélisation de la biodiversité. Tant dans les milieux terrestre que marin, des compartiments entiers de la biodiversité restent méconnus voire inconnus en terme de constituants de niveau spécifique et infra-spécifiques et de rôle joué par ces organismes dans le fonctionnement des écosystèmes. Cette exploration de l'inconnu peut aussi se traduire en un besoin d'une meilleure connaissance des communautés, biomes ou écosystèmes mal connus ou nouveaux. En liaison avec les efforts internationaux dans ce domaine, la recherche française doit, dans ses domaines de compétences, et dans sa sphère d'influence géographique, contribuer avec les outils d'investigation les plus récents à combler cette part d'inconnu qui risque sinon de limiter la pertinence des scénarios sur la dynamique future de la biodiversité.

Action 5 : **Renforcer et coordonner au niveau national les observatoires de la biodiversité** pour permettre l'obtention de séries longues de données, à travers une structure de type ECOSCOPE. La recherche en biodiversité serait extrêmement handicapée sans une telle structure, socle pour tout le champ de la recherche en biodiversité. Ces observatoires, à établir tant sur le territoire métropolitain que dans l'outre-mer français, pourront aussi servir de terrains expérimentaux. Ils incluront collections et réseaux d'acteurs impliqués, et considéreront à part entière les pressions s'exerçant sur la biodiversité. Les sites d'observation à long terme des systèmes homme-environnement permettant d'étudier les couplages homme-milieu-biodiversité seront ici indispensables, avec des moyens matériels et humains à prévoir également sur le long terme.

Action 6 : Etudier les mécanismes clés, mais encore mal pris en compte pour comprendre et prédire la dynamique de la biodiversité, tels que le rôle des processus évolutifs ou des agencements spatiaux. Analyser l'**importance des processus adaptatifs rapides opérant sur des pas de temps courts et au sein d'agencements spatiaux particuliers** devra ainsi être une priorité. De même, développer des **recherches intégrant la vision services écosystémiques à travers différents niveaux d'organisation, sans nécessairement privilégier le niveau écosystème**, et rendre ces recherches compatibles avec les études de dynamiques de la biodiversité aux échelles plus larges sera indispensable. Une partie de ces recherches pourra alimenter le champ de la recherche sur la protection de la biodiversité et les actions qui s'y rattachent, ainsi que la définition d'indicateurs pertinents de biodiversité et de pressions s'exerçant sur elle.

QUATRE ACTIONS TRANSVERSALES IMPERATIVES POUR RENFORCER LA PERTINENCE ET LA COHERENCE DE LA RECHERCHE FRANCAISE EN BIODIVERSITE :

Action 7 : **Développer le caractère interdisciplinaire des recherches.** Les recherches sur la biodiversité et sa dynamique future ont en effet besoin d'un éclairage associant les disciplines des sciences de la vie, des sciences sociales et humaines, de l'ingénierie, de la physique et des mathématiques, ainsi que des Sciences de la Terre. Analyser les modes de gouvernance et niveaux d'organisation ad hoc pour relever les enjeux de la biodiversité implique ainsi des approches fondamentalement interdisciplinaires. Mais cette interdisciplinarité est très difficile à mettre en œuvre. La généralisation d'approches interdisciplinaires doit donc faire l'objet d'un effort particulier, effort d'explication et de formation conjointe, d'identification de questions intégratives susceptibles d'attirer des chercheurs de différentes disciplines, de mobilisation de différentes communautés via notamment des projets et des objets communs importants, ceci pouvant conduire à des appels d'offres thématiques, de moyens ciblés et de reconnaissance au travers d'un processus d'évaluation de la recherche adapté.

Action 8 : **Favoriser le croisement des problématiques tempérées, tropicales et méditerranéennes, des problématiques terrestres et marines, ainsi que des problématiques sauvages et domestiques.** La mutualisation des concepts et méthodes ainsi que la cohérence du dispositif recherche imposent un tel croisement. Un enjeu particulier est ici d'intégrer les problématiques de la communauté 'ressources génétiques' et celles des autres communautés du champ 'biodiversité'. Un effort tout particulier devra être fait pour aider au développement de la recherche en biodiversité dans les pays du sud, en coordination avec les recherches pour le développement.

Action 9 : **Repenser la formation pour mieux préparer aux enjeux de la biodiversité.** Ceci implique également de répondre au besoin de formation, d'expertises et d'information vis à vis des décideurs (élus et administration), des entreprises et des ONGs ainsi que du grand public. Le besoin d'approches pluridisciplinaire dans l'étude de la biodiversité doit être relayé au niveau des universités par la mise en place de départements intégrateurs de disciplines différentes.

Action 10 : **Aider la communauté scientifique à s'organiser pour répondre au besoin croissant d'expertise de la part de la société.** Une meilleure intégration de la biodiversité dans les activités humaines passe par le développement d'interfaces renouvelées entre acteurs de la biodiversité. Cela demande en particulier de repenser et organiser l'expertise scientifique française en biodiversité dans le cadre des processus de décisions publics et privés, et de favoriser l'implication des scientifiques dans les négociations internationales. La FRB constitue une de ces interfaces, pouvant servir de base à une plateforme française science-société sur la biodiversité et les services écosystémiques en lien avec le futur IPBES.

L'enjeu capital que la communauté scientifique a à relever durant les prochaines années pour la planète terre est donc non seulement de fournir différents éléments qualitatifs et quantitatifs (caractérisation approfondie et suivis de la biodiversité, scénarios des dynamiques de la biodiversité à différentes échelles, indicateurs, etc.) demandés aujourd'hui pour répondre aux interrogations de la société, mais également de produire et approfondir des connaissances et concepts nouveaux (niveaux d'organisation pertinents pour aborder les liens biodiversité-services ; cadres pour l'attribution de valeurs à la biodiversité, modes de gouvernance à privilégier, etc.) susceptibles de modifier radicalement la matière même du débat sur la biodiversité.

VALEUR(S) DE LA BIODIVERSITE : UN CADRE DE REFERENCE COLLECTIF ET UN ENJEU CLE POUR LES RECHERCHES EN BIODIVERSITE

« Nous sommes en train de nous apercevoir que l'absence d'évaluation de la nature constitue une cause sous-jacente de la dégradation observée des écosystèmes et de la perte de biodiversité. »

P.Sukhdev, 2008. L'économie des écosystèmes et de la biodiversité, Rapport d'étape, Communauté européenne.

Objet de recherche en elle-même, la question des valeurs de la biodiversité, de ses éléments constitutifs et des services rendus par les écosystèmes (voir encart 4) est l'un des éléments déterminants des recherches documentant, prédisant et expliquant les dynamiques de la biodiversité pour mieux les intégrer aux activités humaines. Elle **constitue un cadre de référence collectif pour la Stratégie Nationale de Recherche et Innovation sur la Biodiversité et un enjeu clé pour la recherche.**

A - POURQUOI LA RECHERCHE DOIT SE PREOCCUPER DE LA VALEUR DE LA BIODIVERSITE ?

La notion de valeur de la biodiversité est fondamentale à plusieurs titres. La Convention sur la diversité biologique de 1992, le droit communautaire et le droit français reconnaissent la biodiversité comme une valeur à protéger, en faisant ainsi un objet de droits et de devoirs³. La valeur reconnue à la biodiversité est le fondement des politiques publiques ayant sa préservation pour objet. Or on sait que l'efficacité de ces politiques est contrariée par les difficultés à traduire la valeur de la biodiversité en termes concrets.

Parallèlement, la prise en compte de la valeur de la biodiversité par la société avance : de nouveaux marchés se créent, les tribunaux français indemnisent les dommages écologiques, des opérations de compensation se mettent en place, ainsi que des comptabilités environnementales, tant publiques que privées. Mais ces initiatives sont dispersées, inégales, et manquent cruellement de référents scientifiques.

³ « Le peuple français proclame solennellement son attachement aux Droits de l'homme et aux principes de la souveraineté nationale (...), ainsi qu'aux droits et devoirs définis dans la Charte de l'environnement de 2004. (...) La préservation de l'environnement doit être recherchée au même titre que les autres intérêts fondamentaux de la Nation ». Loi constitutionnelle 2005-205 du 1^{er} mars 2005 relative à la Charte de l'environnement.

De fait, sur le plan scientifique, les fondements et enjeux relatifs à la valeur de la biodiversité sont rarement clairement affichés en tant que tels et ne génèrent pas suffisamment de travaux spécifiques. La valeur de la biodiversité est une notion pluri- et interdisciplinaire dont l'exploration est loin d'être achevée.

Un investissement plus important de la communauté scientifique autour de la notion de valeur de la biodiversité est aujourd'hui nécessaire, tant pour approfondir les connaissances que pour assurer la diffusion de ces réflexions dans le champ de la sphère de décisions publiques. Il est urgent pour la communauté scientifique d'orienter plus encore certains de ses travaux ou de ses réflexions de synthèse pour donner des bases plus solides à la notion de valeur de la biodiversité. Cette communauté devra ainsi mettre sur pied dès maintenant des expérimentations *ad hoc* en phase avec les attentes sociales, afin de pouvoir fournir au plus vite des connaissances scientifiques à une haute autorité de type « Conseil de surveillance de la biodiversité » ou au futur panel inter-gouvernemental sur la biodiversité et les services écosystémiques IPBES dont on peut penser qu'ils pourraient bientôt être créés.

B - VALEUR ? VOUS AVEZ DIT VALEURS ?

Valeur intrinsèque et valeur instrumentale

On sait que la valeur attribuée à la biodiversité peut être instrumentale (la valeur de la biodiversité est à la mesure des bénéfices qu'elle procure) ou intrinsèque (la biodiversité possède une valeur en soi). La reconnaissance de la valeur intrinsèque de la « nature sauvage », à l'origine de l'éthique environnementale qui est née dans les années soixante-dix, doit beaucoup aux travaux anglo-saxons et au concept de *wilderness*. Les travaux en éthique environnementale ont ainsi permis de poser la question de la biodiversité comme valeur en elle-même. La traduction en a été, dans le champ politique et juridique, la protection de certains espaces et espèces emblématiques et la proclamation de la valeur intrinsèque de la diversité biologique, en particulier dans le préambule de la Convention sur la diversité biologique. En parallèle, dans le champ de la conservation des ressources génétiques, la loi sur l'élevage de 1966 a marqué le vrai début d'une politique de conservation des ressources génétiques des races animales. Puis, les années quatre-vingt ont vu un recentrage marqué des préoccupations sur la dimension humaine de la question environnementale, comme l'exprime la notion de développement durable qui s'est imposée de nos jours comme un cadre conceptuel et normatif fort pour penser notre rapport à l'environnement.

Aujourd'hui l'approche fonctionnelle de l'écologie, la montée en puissance du concept de « service écologique », ainsi qu'une vision pragmatique qui pousse à rendre « économiquement intéressante » la protection de la biodiversité⁴ modifient les termes dans lesquels se pose la question de la valeur de la biodiversité. Le risque serait de penser valeur intrinsèque et valeur instrumentale comme exclusives

⁴ « Au vu de l'ampleur du défi à relever, il est nécessaire d'envisager de nouvelles approches et, surtout, de rendre la protection de la biodiversité économiquement intéressante. La valeur intrinsèque de la nature ne sera pas suffisante en soi. » Communication de la commission européenne relative à l'examen à mi-parcours du sixième programme d'action communautaire pour l'environnement, COM (2007) 225 final.

et contradictoires. Au contraire, la connaissance, même imparfaite, que nous avons aujourd'hui de la biodiversité conduit à les penser comme additionnelles et complémentaires. Ceci devrait générer des questions de recherche propres (méthodologies d'évaluation de la valeur économique de la biodiversité, bases scientifiques soutenant la mise en place de mécanismes de compensation ou la définition de règles de droit reconnaissant et protégeant la pluralité des valeurs de la biodiversité...). Plus généralement, **les valeurs attribuées aujourd'hui à la biodiversité par nos sociétés, et plus encore celles qui lui seront données demain, seront à pleinement prendre en compte par les recherches visant à élaborer des scénarios sur la dynamique de la biodiversité** (chapitre « Modéliser et scénariser », et encart 4).

Des recherches aidant à repenser les rapports Homme/Nature

La prise de conscience que les rapports Homme/Nature ne se limitent pas à l'alternative détruire/conservé, mais que l'Homme, partie intégrante des écosystèmes, contribue à, et oriente, leur fonctionnement, fournit un nouveau défi à l'éthique environnementale : **chercher à concilier la rationalité instrumentale de la gestion des ressources naturelles à la dimension morale de notre rapport à la nature**. L'éthique environnementale n'a jamais été une éthique appliquée : en reconnaissant une valeur intrinsèque à des entités non humaines, en remettant en cause les limites des théories morales traditionnelles, elle interroge et bouleverse les cadres de la pensée philosophique. Aujourd'hui, l'éthique environnementale ne peut plus ignorer la dimension humaine des défis écologiques actuels ; elle doit intégrer la dimension globale des changements écosystémiques avec les problématiques locales et les préoccupations anthropocentrées qui s'y expriment. L'accès équitable aux ressources, le partage des bénéfices, mais aussi des risques écologiques, posent la question nouvelle de la justice environnementale, dans ses dimensions spatiales, en particulier Nord/Sud, mais aussi temporelles avec la prise en compte de ce que pourraient être les besoins et aspirations des générations futures.

La recherche doit prendre en compte et évaluer la pluralité des valeurs de la biodiversité, humaines et non humaines, économiques, sociales et morales. C'est d'ailleurs bien le sens donné par les Etats parties à la Convention sur la diversité biologique, qui s'y déclarent conscients « de la valeur intrinsèque de la diversité biologique et de la valeur de la diversité et de ses éléments constitutifs sur les plans environnemental, génétique, social, économique, scientifique, éducatif, culturel, récréatif et esthétique ». Il est important de souligner que les valeurs de la biodiversité et de ses éléments constitutifs ne sont pas forcément fixes dans le temps ni homogènes dans l'espace. La CDB introduit la notion de « *valeur effective ou potentielle* » pour les ressources génétiques, celles-ci étant définies comme le matériel génétique d'origine végétale, animale ou microbienne contenant des unités fonctionnelles de l'hérédité et ayant une valeur effective ou potentielle.

Valeur d'une baleine, d'une bactérie, d'un service écologique, d'un écosystème ?

Les connaissances plus approfondies des écosystèmes conduisent à **différencier la question de la valeur de la biodiversité, pensée comme un tout, de celles de ses éléments constitutifs, entendus comme les substrats matériels qui en sont les « supports » et dont la préservation est nécessaire**

pour assurer le maintien de la biodiversité, ainsi que des fonctions et services qu'elle remplit. On réduit en effet trop souvent la valeur de la biodiversité à celle des espèces, voire à celle de quelques espèces (ou populations) emblématiques (l'ours des Pyrénées, l'edelweiss...), alors que la biodiversité existe à tous les niveaux du vivant (du gène à la biosphère). Il convient donc de distinguer entre la valeur des différentes composantes de la biodiversité et la valeur de la biodiversité elle-même.

La recherche scientifique doit aujourd'hui contribuer à répondre à des questions clés telles que : Comment l'attribution de valeurs à la biodiversité se traduit-elle concrètement ? Quels sont les éléments, les entités porteurs ou supports de ces valeurs ? S'agit-il des espèces, des variétés, races, populations, de chaque individu ou organisme vivant (une baleine, un microorganisme), des écosystèmes, de l'ensemble du « vivant » (si une définition est possible), des fonctions ou services que l'on connaît des écosystèmes, des processus d'adaptation... ? Au delà se pose la question de l'équivalence, de l'interchangeabilité des éléments auxquels on attribue une valeur : un écosystème, une bactérie, une espèce animale ou végétale, une fonction écologique etc. sont-ils fongibles ? Ou à partir de quels seuils le deviennent-ils ? Si la question des « supports » des valeurs de la biodiversité interroge l'ensemble des champs disciplinaires, elle se traduira bien entendu également par des choix en termes de politiques publiques. En effet, la recherche en elle-même ne « découvre » pas les valeurs de la biodiversité : en explorant la complexité de la biodiversité (ses composantes, leurs interactions et les fonctions et services associés) elle attire notre attention sur ce à quoi nous pouvons attribuer de la valeur. Elle contribue également à éclairer les choix de société sur la valeur intrinsèque de la biodiversité et de ses éléments constitutifs, indépendamment de l'utilité qu'ils représentent.

C - DES ACTIONS DE RECHERCHE PRIORITAIRES

L'un des défis que la recherche scientifique, la société civile et les institutions politiques devront relever ensemble consiste à traduire les réflexions sur les valeurs de la biodiversité en actions de recherche pouvant fournir *in fine* des fondements pour définir les obligations et devoirs humains envers les entités porteuses des valeurs attribuées à la biodiversité. Quelques champs de recherche sont identifiés ci-après.

Quels outils pour mesurer quelles valeurs de la biodiversité ?

Si les apports de la discipline économique (valeurs d'usage, d'option, de quasi option, d'existence, de legs) sont déjà conséquents, les théories économiques standards devront être affinées et améliorées. En effet, bien qu'elles soient fondées en grande partie sur les approches en terme de biens publics et d'externalités, ces théories demeurent assez largement déficientes pour comprendre les relations nature-société. En particulier les hypothèses utilisées sont souvent trop éloignées de la complexité des fonctionnements des entités biologiques (génomés, populations, communautés, écosystèmes, etc.) et de leurs relations avec les sociétés humaines pour pouvoir fournir des solutions efficaces et efficientes aux problèmes posés par la conservation et la gestion de la biodiversité.

Comme le souligne le récent rapport du Centre d'Analyse Stratégique (Chevassus-au-Louis *et al.* 2009. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Contribution à la décision publique), « les travaux

économiques actuellement les plus nombreux et les plus aboutis s'appuient beaucoup plus sur l'évaluation indirecte des services écosystémiques que sur la biodiversité ». Les principaux outils économiques utilisent des méthodes d'évaluation indirectes des services environnementaux en se fondant sur les résultats d'enquêtes réalisées à partir de scénarii hypothétiques (méthodes d'évaluations contingentes) afin de déterminer des consentements à payer ou des consentements à recevoir. La validité des résultats des méthodes d'évaluation contingente dépend étroitement des mécanismes de révélation des préférences utilisés lors des enquêtes. Dans ce cadre, de nombreux biais existent, qui ont fait l'objet de débats méthodologiques. On mesure donc ici des variations de bien-être individuel ou social qui sont censées refléter les conséquences des variations d'aménités. S'appuyant sur l'agrégation de préférences individuelles, les valeurs retenues dépendent directement du type d'information disponible, de la façon dont elles sont présentées et de la capacité de chaque enquêté à en analyser les effets. **La mesure obtenue ne reflète alors que très partiellement la valeur de la biodiversité** (voir aussi sur ce thème le rapport du CREDOC : Maresca *et al.* 2008. Les retombées économiques et les aménités des espaces naturels protégés). Il résulte de ces difficultés la tentation d'utiliser une appréciation se ramenant à un minimum standard propre (tout écosystème, toute espèce, toute ressources sont bons à protéger si le coût en est économiquement acceptable). On le voit, la recherche a encore beaucoup à apporter dans ce domaine.

Par ailleurs, les seuls outils de l'économie ne sauraient rendre compte de la pluralité des valeurs attribuées à la biodiversité. Comment mesurer, estimer les valeurs morales, exogènes au marché, qu'elles soient esthétiques, culturelles, religieuses ou « existentielles » (accès à l'eau potable, aux ressources génétiques vitales par ex.) ? S'agit-il de valeurs universelles ? Comment rendre compte de leur diversité ? Comment mesurer sans uniformiser, standardiser ? Comment définir des grilles d'évaluation susceptibles d'être déclinées différemment selon les lieux, les circonstances, les autres valeurs concernées (ex. santé humaine, libre échange, etc.) par les autorités publiques (UE, Etats, collectivités territoriales, etc.) ou les acteurs privés (entreprises, ONG)... ?

La monnaie peut être un étalon commode pour évaluer une part de la biodiversité. Attribuer une valeur monétaire à la biodiversité, ou plus exactement à certains de ses éléments, ne signifie pas que celle-ci se transforme automatiquement en objet de marché ou d'échange, d'autant plus qu'il n'existe pas de substituabilité en matière de biodiversité ; pas plus qu'accepter de réparer en équivalent monétaire la douleur physique ou morale ne se traduit par la création d'un marché de la vie humaine. Les travaux du Centre d'Analyse Stratégique sur la monétarisation de la biodiversité et des services montrent l'actualité et la pertinence de cette question, mais aussi les limites de la monétarisation, pour la biodiversité en général et notamment en ce qui concerne les espaces et espèces remarquables ou emblématiques. Ces travaux soulignent aussi la nécessité de réfléchir aux modes de régulation des marchés de la biodiversité. A cet égard, **le champ récemment ouvert de la responsabilité environnementale en droit français et communautaire, qui oblige à réparer en nature la nature, et parfois à compenser, offre un terrain de recherche concret qui gagnerait à être investi par des recherches interdisciplinaires, en partenariat avec les acteurs de terrains** (gestionnaires d'espaces naturels, magistrats par ex.). De la même manière, il pourrait être

intéressant de développer des approches permettant de faire révéler par chaque usager, chaque acteur ou chaque communauté la valeur qu'il accorde à la biodiversité. L'objectif est de prendre en compte les différences de vision qui portent sur « le poids » relatif des différentes « composantes de la valeur » : économique, sociale, esthétique, culturelle, spirituelle, éthique... L'intérêt d'encourager ce type d'approches tient dans le fait qu'elles permettent de dépasser les limites des seules approches économiques (valeur marchande ou non marchande) et de mieux appréhender les autres composantes de la valeur. Ce type d'approche s'appuie sur les réflexions et sur des méthodologies développées par les tenants du Participatory Assessment Monitoring and Evaluation of Biodiversity (ETFRN Workshop on Participatory Monitoring and Evaluation of Biodiversity, 2001). Ceci ne constitue cependant pas une panacée, en particulier parce que les méthodologies ne sont pas encore standardisées et parce que les usagers, les acteurs et les communautés ne sont pas toujours capables de communiquer sur, ou d'évaluer, les valeurs de la biodiversité qu'ils portent. Ce domaine reste donc encore à investir par la recherche, notamment pour mieux analyser les différences d'appréciation voire les conflits entre les différentes perceptions. Il est également nécessaire d'analyser les procédures de médiation mises en œuvre ou à mettre en œuvre, et les échelles de temps et d'espace pertinentes.

Comment estimer la valeur des services et fonctions de la biodiversité ?

Une meilleure connaissance des services écosystémiques apparaît indispensable pour évaluer « l'état de santé biodiversité » des écosystèmes. Ceci conduit à s'intéresser à la biodiversité « ordinaire », hors espaces et espèces spécifiquement protégés, dont on sait qu'elle est essentielle au fonctionnement des écosystèmes. Que ce soit dans le cadre d'opérations de compensation, ou de l'évaluation des dommages à la biodiversité, des questions très concrètes de méthodologie se posent, qui devront être approfondies par les scientifiques. Comment prendre en compte les incertitudes, les lacunes dans nos connaissances ? Comment estimer la valeur de services ou fonctions que l'on ne connaît pas encore ? A fonder la protection de la biodiversité sur les services ou fonctions ne risque-t-on pas de passer à côté de services ou fonctions utiles pour demain, mais qui sont hors de notre « champ de vision » aujourd'hui ? Comment développer une évaluation de l'état des écosystèmes qui prenne en compte les niveaux de réalisation de différents services ? Comment gérer les contradictions entre la préservation des services globaux et locaux ? Comment répartir les risques et bénéfices pour les populations bénéficiaires de certains services ? Autant de questions qui nécessiteront des recherches spécifiques.

Quelle recherche pour mieux définir les statuts et régimes juridiques pour la biodiversité et ses valeurs ?

Si le droit est nourri par les connaissances scientifiques (sciences du vivant, mais aussi économie, sociologie, philosophie), par la politique et par l'éthique, il doit traiter ces informations avec ses propres catégories et concepts. Dès lors **la question de la nature juridique, des concepts, catégories et régimes juridiques pertinents pour faire exister la biodiversité dans le système juridique se pose comme une question de recherche pour les juristes** et comme un élément déterminant de l'efficacité des politiques publiques. Conférer un statut juridique (à

des choses, des êtres humains, des groupements, etc.) permet en effet de déterminer le régime juridique (ensemble de règles et principes) applicable (par ex. à un enfant mineur, une espèce protégée, etc.). Les notions « classiques » comme celles d'espèces et d'espaces protégés apparaissent insuffisantes pour répondre aux nouveaux défis écologiques rappelés en introduction de cette prospective. La nature particulière de la biodiversité et de ses éléments constitutifs, ni choses, ni personnes juridiques, en fait des « centres d'intérêts », un « patrimoine commun », dont la nature et le régime juridique restent à construire. La recherche devra donc fournir des bases notamment pour répondre aux questions suivantes. Comment faire exister dans le champ du droit la valeur intrinsèque reconnue à la biodiversité ? Comment penser le statut de la biodiversité « ordinaire » et des services écologiques ? Quels seront les principes directeurs de ces statuts : par exemple la protection « matérielle » de certaines espèces, de leur diversité intra-spécifique et de certaines fonctions, un accès équitable aux ressources, une approche de précaution, un principe de justice environnementale, etc ? A travers ces questions fondamentales, c'est sans doute l'appréhension même du « vivant » (par exemple les droits de propriété intellectuelle sur les ressources génétiques) qui interroge la recherche aujourd'hui.

ENCART 4 : Intégrer les valeurs de la biodiversité pour scénariser les changements de biodiversité : un enjeu majeur de recherche

La valeur de la biodiversité dans ses différentes formes : économique, esthétique, culturelle, spirituelle, éthique... dépend étroitement des particularités des sociétés, des caractéristiques des composantes de cette biodiversité et des services écosystémiques rendus. Inversement, tout changement des valeurs attribuées à la biodiversité peut entraîner des modifications des choix politiques et des usages. La description et la compréhension de ces interrelations constituent un enjeu majeur de la recherche, car cela établit la condition d'une bonne compréhension (voir chapitre « comprendre ») et scénarisation des changements de biodiversité (voir chapitre « modéliser et scénariser »). Que la communauté scientifique intègre la valeur de la biodiversité dans les scénarios de biodiversité est donc fondamental.

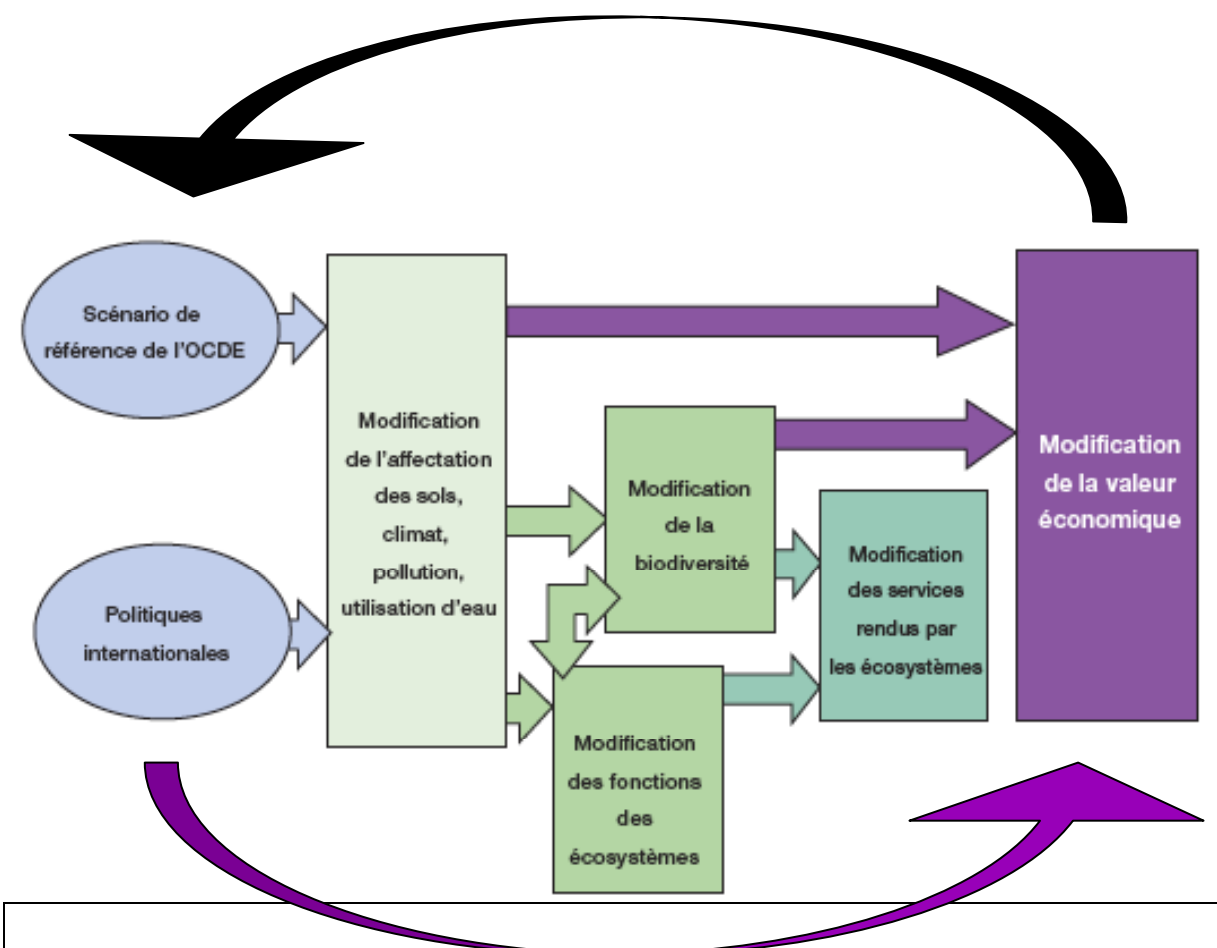


Figure 4.1. Schématisation des liens existant entre politiques publiques, pressions anthropiques, biodiversité et valeurs de la biodiversité qu'il faut bien prendre en compte pour scénariser les changements à venir de biodiversité (modifié d'après le rapport « The economics of ecosystems and biodiversity », 2008).

DOCUMENTER : RENFORCER LES APPROCHES ET LES OUTILS DOCUMENTANT L'ETAT ET LA DYNAMIQUE DE LA BIODIVERSITE

« Nous n'héritons pas de la terre de nos ancêtres,
nous l'empruntons à nos enfants »

Attribué à A. de Saint-Exupéry

A - ENJEUX, OBJECTIFS ET QUESTIONNEMENTS

La communauté scientifique considère aujourd'hui qu'une extinction massive est en train de s'amorcer. Il est pourtant paradoxal de constater qu'en dehors de groupes taxonomiques emblématiques de par l'intérêt que l'homme leur porte (*biodiversité commune* : oiseaux, batraciens, grands mammifères, plantes à fleurs, etc. ; *biodiversité utile* : vivrière essentiellement, mais aussi pollinisateurs), **il est encore difficile aujourd'hui de quantifier précisément la réduction de la biodiversité**. Des questions clés restent en suspens : quelle est l'importance de la crise actuelle de la biodiversité ? Est-on entré dans la 6^{ème} période d'extinctions massives d'espèces (cinq périodes étant déjà identifiées au cours des temps géologiques) ? Comment se traduit la crise actuelle en termes de disparitions d'espèces, de déplacements de populations et d'espèces ou encore de changements dans la composition des communautés fauniques ou floristiques ? Avec quels indicateurs peut-on mesurer l'amplitude de cette crise ? Quels sont les facteurs responsables de cette érosion de la biodiversité et quelle est la part des facteurs naturels et des activités humaines dans l'origine de ces changements ? Quelles seront les conséquences de cette érosion pour le fonctionnement des écosystèmes, pour les services écosystémiques et pour les populations humaines ?

On rappellera que l'amélioration des connaissances en matière de biodiversité est prévue expressément par la Convention sur la Diversité Biologique, puisque les Parties signataires s'y déclarent « Conscientes du fait que les renseignements et les connaissances sur la diversité biologique font également défaut et qu'il est nécessaire de développer d'urgence les moyens scientifiques, techniques et institutionnels propres à assurer le savoir fondamental nécessaire à la conception des mesures appropriées et à leur mise en œuvre » (CDB, préambule, cf. également l'article 7 de la CDB intitulé « Identification et surveillance »).

Une grande partie de la diversité biologique reste encore à découvrir et à caractériser : de nombreuses populations et de nombreuses espèces disparaissent avant même d'avoir été identifiées. C'est en particulier le cas des arthropodes et des micro-organismes qui restent très largement inconnus, comme ceux des sols, des forêts tropicales et du domaine marin où, à l'exception de la frange littorale et de quelques écosystèmes ciblés, notre ignorance de la biodiversité est patente. Tous écosystèmes confondus, on estime actuellement n'avoir identifié qu'environ 10% des insectes et des autres groupes d'invertébrés, et tout au plus quelques pourcents des microorganismes. Or, ces organismes jouent un rôle critique dans le fonctionnement des écosystèmes et le maintien de l'intégrité des services écologiques. Par ailleurs,

la dynamique des changements qui affectent les groupes taxonomiques les plus connus reste très mal renseignée (devenir de la flore commune par exemple) ou non interprétable (cas du déclin accéléré des moineaux en Europe du nord). Les processus biologiques et écologiques ne pourront pas être correctement compris et modélisés sans améliorer notre appréciation qualitative et quantitative de la biodiversité, de son hétérogénéité spatiale, des interactions de ses éléments et de sa dynamique globale. **Dans les années qui viennent, on ne pourra pas documenter sérieusement les atteintes portées à la biodiversité et en comprendre les mécanismes sans en connaître mieux la cible.**

Qui dit documentation des atteintes à la biodiversité dit aussi caractérisation précise des menaces qui pèsent sur la biodiversité, afin de pouvoir les réduire (encart 5). Les causes génériques de l'érosion de la biodiversité sont largement dépendantes du niveau pris en compte : elles peuvent différer selon que l'on considère la biodiversité intraspécifique, spécifique ou écosystémique. De même, les causes de la dégradation des services écosystémiques peuvent opérer à différentes échelles en fonction du type de service considéré.

La biodiversité des écosystèmes est principalement affectée par **la modification des habitats (destruction, dégradation, fragmentation) et les changements d'occupation des sols. C'est la première menace pour les espèces vivantes**, très liée à l'utilisation croissante que l'homme fait du capital naturel de la planète (encart 5). On estime que 80 à 90% des oiseaux, mammifères et plantes en danger sont ainsi touchés. Les principales modifications des habitats à considérer sont ici la déforestation, souvent liée aux besoins d'agriculture pour nourrir la population mondiale, mais également de la disparition des zones humides ou des récifs coralliens. Par exemple, on estime que, depuis la sédentarisation de l'homme et sa maîtrise de l'agriculture il y a 8000 ans, il a détruit 45 % de la couverture terrestre forestière mondiale. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, la perte annuelle de forêt équivaut de nos jours à 9,4 millions hectares, ce qui correspond à la surface du Portugal, et, si on considère les 20 dernières années, à l'équivalent de la surface de l'Europe de l'Ouest. D'ici une ou deux décennies, plusieurs pays à très riche biodiversité forestière risquent de perdre la quasi totalité de leurs forêts. Plus des deux tiers des zones humides françaises (marais, lacs, cours d'eaux, tourbières, estuaires, etc.) ont été détruits depuis le début du siècle dernier. Un cinquième des récifs coralliens est déjà détruit alors qu'un autre cinquième est sévèrement dégradé. La situation des mangroves, des récifs coralliens et des herbiers marins (champs d'algues des mers peu profondes) qui abritent une biodiversité très riche devient particulièrement préoccupante...

Les invasions biologiques constituent la seconde source de perte de la biodiversité (encart 5). Elles agissent principalement aux niveaux écosystémique et spécifique. L'accroissement des échanges internationaux, et, consécutivement, la multiplication des voies de communication et l'intensification des trafics routiers, ferroviaires, aériens et maritimes, augmentent inexorablement la fréquence des introductions accidentelles d'espèces dans des écosystèmes qui leur sont étrangers. Viennent s'y ajouter les nombreuses introductions délibérées de plantes et d'animaux qui ont eu lieu depuis plusieurs siècles et continuent d'avoir lieu partout dans le monde. Une étude récente montre que plus de 10 000 espèces sont envahissantes en Europe, et les riches écosystèmes de la France outremer sont également très touchés. Les dégâts écologiques des espèces envahissantes sont

très importants, mais ce processus occasionne également des coûts économiques substantiels dans de très nombreux cas. Le coût annuel causé par les espèces introduites pour les seuls Etats-Unis est estimé à plus de 137 milliards de dollars. On peut y ajouter un fort impact sanitaire car certaines espèces envahissantes sont des réservoirs ou des vecteurs de maladies pour d'autres espèces, parfois même pour l'homme. Une cause de perte de biodiversité concerne le niveau intraspécifique des espèces domestiquées : parallèlement à la création de variétés et de races et à la mise en place de stratégies de conservation des ressources génétiques, l'homogénéisation croissante des systèmes de production se traduit par une diminution relative du nombre de variétés de plantes cultivées et de races animales utilisées sur le territoire national. L'apport d'un petit nombre d'espèces cosmopolites dans les écosystèmes semi-naturels (dont certaines espèces commensales de l'homme) contribue également à la tendance générale d'homogénéisation des écosystèmes par introduction d'espèces.

La pollution des sols, des eaux et de l'air, provenant de la production d'énergie, de l'industrie chimique, des transports, de la consommation ménagère ou des activités agricoles notamment, **constitue également une source importante de perte de biodiversité**, directement ou par le biais de la dégradation de l'habitat. Les conséquences de la pollution sont non seulement l'effet de serre, les pluies acides, l'amincissement de la couche d'ozone, mais aussi les épidémies massives de plantes ou d'animaux dans les zones polluées, voire la détérioration extrême de l'écosystème, comme dans le cas des marées noires. Tous ces facteurs affectent la biodiversité de manière difficilement quantifiable, mais néanmoins certaine. Ainsi, on estime que 40 à 50 % des espèces de champignons ont quasiment disparu ces 60 dernières années en Allemagne, en Autriche et aux Pays-Bas à cause de la pollution. Beaucoup d'espèces d'insectes se sont également raréfiées dans les campagnes européennes et nord américaines, affectant de fait l'ensemble de la chaîne alimentaire, et en particulier les plantes et les animaux qui dépendent directement de ces insectes.

La dernière grande cause de perte de biodiversité est la surexploitation directe d'espèces animales et végétales au sein de marchés économiques en croissance constante, alimentaires ou de matière première (comme le bois). Les stocks de poissons sont ainsi pour une grande partie en déclin. Une espèce de poisson sur trois est actuellement menacée d'extinction et 90% des grands prédateurs marins ont déjà disparus. La surexploitation du gibier de brousse vide les forêts des pays tropicaux d'Afrique, d'Asie et d'Amérique du Sud et concerne des marchés économiques de plusieurs millions de dollars annuels. Ils concernent à peu près toutes les espèces de vertébrés, à hauteur de 1 à 5 millions de tonnes par an rien que pour l'Afrique. D'autres marchés économiques florissants sont en cause : celui des « Nouveaux Animaux de Compagnie » : singes, rongeurs, perroquets, reptiles, mygales, etc.... qui menace directement plusieurs dizaines d'espèces dans le monde. Le commerce international légal d'espèces de faune et de flore représente 160 milliards de dollars par an (et plus de 350 millions de spécimens). A cet énorme volume légal, il faut ajouter le **trafic illégal d'animaux et de plantes sauvages, actuellement le 2^{ème} trafic au monde de par son importance, après la drogue et devant les armes**. Parallèlement, dans les écosystèmes cultivés, on observe une uniformisation, un appauvrissement de la diversité des ressources effectivement exploitées. Selon la FAO, « Seules douze espèces végétales et quatorze espèces

animales assurent désormais l'essentiel de l'alimentation de la planète » ; de plus « environ les trois quarts de la diversité génétique variétale des plantes cultivées ont disparu au cours du dernier siècle et des centaines de races animales sur les 7 000 recensées dans les bases de données sont à risque d'extinction » (<http://www.fao.org/newsroom/fr/news/2008/1000841/index.html>). Cette situation a différentes origines : globalisation des échanges (seules 150 plantes cultivées feraient l'objet d'échanges à l'échelle mondiale) et industrialisation de l'agriculture des pays du Nord et des grands pays exportateurs comme le Brésil.

Il est difficile d'imputer l'extinction d'espèces, de races ou de variétés, ainsi que la dégradation d'écosystèmes ou de services écosystémiques, à une seule de ces causes, car toutes agissent simultanément, parfois même en interaction avec des effets synergiques fréquents. Mais elles démontrent que d'une manière générale, le concept de diversité biologique s'est déplacé d'une dimension principalement descriptive vers une approche plus dynamique et élargie du concept. Diversité biologique flirte désormais avec des thèmes comme le développement économique (efficacité économique), l'environnement (viabilité écologique) et les questions sociales (équité sociale) (Barbault et al., 2004. Texte de stratégie nationale de recherche en biodiversité. On est passé d'une logique d'inventaires à celle de gestion globale au sens le plus riche du terme en y intégrant des valeurs morales, esthétiques, patrimoniales, sociales et économiques. Plus récemment a émergé un besoin de prédiction qui met en avant changements et interactions dynamiques de la biodiversité. Ce constat éclaire **les enjeux d'une meilleure connaissance qualitative et quantitative (1) des éléments qui font la biodiversité, (2) des changements de ces éléments dans l'espace et dans le temps et (3) de leurs interactions les plus locales jusqu'à la dynamique globale de la biodiversité afin d'y ancrer, aussi harmonieusement que possible, l'évolution des sociétés humaines.**

Pour comprendre et agir sur les problèmes soulevés par les changements qui affectent aujourd'hui la biodiversité, y compris dans ses composantes ressources génétiques et diversités culturelles, **il est indispensable de disposer de bases documentaires robustes, validées, interactives et capables d'évoluer.** Ces bases documentaires concernent aussi bien l'état de la biodiversité et des pressions qu'elle subit que son suivi temporel, ou la dynamique de ses changements à différentes échelles de temps. Pour ce faire, il convient de s'interroger sur les indicateurs appropriés : estimateurs systématiques appuyés sur la notion de richesse (clades, espèces, populations, variétés) ; estimateurs de fréquence et d'abondance ; estimateurs d'occupation d'espaces (surfaces d'écosystèmes) ; estimateurs de diversité intraspécifique, estimateurs de diversité fonctionnelle, estimateurs d'ordre culturel et social... Données et indicateurs doivent être adaptés à la diversité des questions posées (répondre à des objectifs précis de façon réactive, ou permettre des veilles et systèmes d'alerte sur le long terme dans une démarche proactive).

La nature et la diversité des données ajoutent à la complexité des défis à relever. Ces données peuvent en effet être requises à tous les niveaux de la biologie des systèmes vivants : génomes, populations, formes et variétés, espèces, traits de vie et fonctionnels, biotopes et écosystèmes, ... et en incluant leurs interactions, mais doivent également intégrer des variables fonctionnelles (flux et bilans de masse, niveaux de réalisation de fonctions et services), structurelles (agencements

des habitats et paysages, réseaux écologiques,...), physico-chimiques (caractéristiques des sols et des eaux, climat local) et des variables décrivant les pressions anthropiques (niveaux de polluants, mode d'utilisation des terres, niveau d'intensification, voies de communication créées par l'homme...). Non seulement biologiques ou naturalistes, les données peuvent aussi être de type juridique, social ou économique et ont pour source le monde académique, associatif, celui des entreprises, des collectivités ou des services de l'Etat. **Créer de telles bases de données concerne ainsi des champs disciplinaires aussi variés que la biologie et l'écologie, la géologie, la (bio)géographie, la chimie et biogéochimie, la climatologie, l'agronomie et la télédétection, les sciences humaines et sociales, le droit, l'économie...** Elles doivent intégrer des données issues de domaines aussi disparates que celui des pêcheries, de l'agriculture, ou de la santé. Enfin, elles s'intéresseront tant au présent qu'au passé. La collecte de ces données peut être contrariée par le respect du secret industriel, les droits de propriété intellectuelle, la protection de la vie privée, etc. **Faire parler ensemble ces données est non seulement un défi technologique et intellectuel, mais c'est surtout un défi humain** qui impose, au-delà des seules données, de faire travailler ensemble des hommes.

A ce jour, la communauté scientifique, mais également le tissu associatif, les entreprises et les organismes publics (collectivités, Etats), ne sont que très partiellement capables de faire face à la nécessaire structuration attendue des données (collecte, archivage, accessibilité, codage, inter-opérabilité) et de les intégrer sans redondance inutile dans des structures internationales (réseaux, bases de données...) ou nationales (ex. collections). C'est pourtant un prérequis pour répondre avec pertinence aux questions suivantes :

- Comment caractériser la biodiversité ? Et plus particulièrement, que doit-on inventorier, mesurer ? Comment quantifier ?
- Comment mieux prendre en compte les causes des pertes de biodiversité et mieux en estimer l'incidence écologique et économique ?
- Comment représenter l'état de la biodiversité d'une manière accessible (au grand public, aux décideurs, ...) ?
- Les suivis d'oiseaux, existant dans l'ensemble des pays de l'hémisphère Nord, sont-ils à généraliser vers d'autres groupes d'organismes ? Les sciences participatives, comme celles menées en France sur les oiseaux ou les papillons, sont-elles à développer ?
- Des opérations d'inventaire exhaustif comme celui qui vient d'être réalisé dans l'archipel des Vanuatu (opération Santo 2006) ou conduit dans le Parc national du Mercantour (All Taxa Biodiversity Inventory) sont-elles à poursuivre ? Des inventaires de cette nature aideront-ils à apprécier l'ordre de grandeur de l'erreur que l'on fait couramment dans l'estimation de la biodiversité ?
- Comment cibler géographiquement les inventaires, les études et les suivis de diversité biologique, et comment les maintenir sur des durées compatibles avec l'objectif de modélisation et de scénarisation ? Comment associer inventaires et suivis de la biodiversité, connaissance et intégration des savoirs locaux, et surtout évaluation de la diversité et de la pérennité des relations homme-nature ?

- Comment mieux intégrer les données sur les aspects technologiques, sociaux et économiques des relations de l'homme à la biodiversité dans une perspective d'essor des sciences de la conservation et de valorisation de la biodiversité ?
- Comment inscrire l'ensemble de ces démarches dans le contexte de la recherche internationale ?

B – SITUATION ACTUELLE: FRANCE, EUROPE, MONDE

Pour la biodiversité, de **nombreuses initiatives** permettant d'archiver, de consulter, d'extraire de l'information, voire de traiter cette information, ont vu le jour depuis plus de dix ans. En France et au-delà des acteurs privés et associatifs, elles s'appuient aujourd'hui sur un ensemble d'observatoires de l'environnement diversifiés (Observatoires de Recherche sur l'Environnement – ORE -, Observatoires des Sciences de l'Univers – OSU -, Zones Ateliers – ZA -, Observatoires Homme-milieux – OHM -, le Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau - SANDRE -, etc.) qui travaillent à toutes les échelles territoriales et ont pour mission de compléter les connaissances déjà acquises. On notera toutefois que ces outils ne sont pas spécifiquement dédiés à l'observation de la biodiversité. Le dispositif Vigie-Nature vise quant à lui au suivi de « l'état de santé » de la nature ordinaire à travers des groupes indicateurs de biodiversité (oiseaux, papillons, chauve-souris, et bientôt plantes et amphibiens), s'appuyant sur les réseaux naturalistes volontaires : il s'agit ici de recherche participative impliquant 1000 collaborateurs et 1400 carrés d'observation pour le seul Suivi Temporel des Oiseau Communs – STOC. Plus généralement, le Système d'Information sur la Nature et les Paysages (SINP) et le GBIF-Fr représentent des opérateurs clés dans le domaine.

Concernant les services écosystémiques, ils sont rarement pris en compte de façon satisfaisante dans les observatoires de l'environnement ou de la biodiversité existants. La réflexion actuelle porte souvent très en amont, en terme de type de services à inclure, d'échelles spatiales ou niveaux d'organisation pertinents, etc. Il s'agit pourtant d'un volet important pour le futur, et qui devra être pleinement pris en compte par les futurs observatoires.

Pour les espèces animales et végétales élevées et cultivées ainsi que, dans certains cas, leurs apparentés sauvages, des réseaux collectifs de conservation des ressources génétiques coordonnés au niveau national et international ont été mis en place depuis les années 1980. Pour les plantes cultivées et les apparentés sauvages, les centres internationaux CGIAR gèrent ainsi plus de 650000 entités génétiques ; dans les collections nationales de 38 pays européens, la base EURISCO recense pour sa part 1,1 million d'entrées, représentant 1450 genres et 8665 espèces. Qu'ils soient *in situ* ou *ex situ*, en conservation dynamique ou statique, les réseaux collectifs représentent une infrastructure de long terme permettant non seulement de documenter l'état de cette biodiversité à différentes échelles spatiales et temporelles, mais aussi d'observer les processus de son évolution. **On dispose donc actuellement d'infrastructures privilégiées, coordonnées entre différents acteurs publics, privés et associatifs, mais dont la fonction d'observatoire reste insuffisamment valorisée**, que ce soit pour la

validation même des stratégies de conservation ou pour l'élaboration de connaissances en alimentant la modélisation par des données adaptées.

Depuis les années 1990, la France est engagée dans des accords internationaux pour la conservation de la biodiversité, en particulier la convention sur la diversité biologique ou le traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Paradoxalement, ces engagements ont été pris avant même que les critères et indicateurs correspondants ne soient clairement définis et validés. Il est donc **nécessaire et urgent d'affiner les outils d'évaluation et de suivi de ces engagements** ; cela passe par des données de qualité, standardisées au plan international.

Il serait souhaitable que la France joue un rôle important dans l'organisation et l'interconnexion de toutes ces bases de connaissance. Le projet LifeWatch qui vise à une valorisation intégrative européenne de ces initiatives et qui est reconnu comme une Très Grande Infrastructure de Recherche hautement prioritaire va dans ce sens (Les TGIR. Feuille de Route Française, 2008). La France est ici particulièrement bien préparée ; elle est présente et bien représentée dans le contexte international, y compris parmi les initiatives les plus actives. Elle est bien organisée en biologie marine, spécialement pour les espèces d'intérêt halieutique. Avec la création du Bureau des Ressources Génétiques en 1983, elle occupe une position clé au plan européen pour la mise en réseau à l'échelle nationale des acteurs impliqués dans la gestion des ressources génétiques végétales, animales et microbiennes. La France occupe ainsi une place privilégiée dans les instances de coordination internationales européennes (European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources « ECPGR », European Regional Focal Point for animal genetic resources « ERFP », Euforgen...).

Par ailleurs, la France figure parmi les leaders mondiaux dans la documentation de la diversité fonctionnelle, notamment pour les végétaux supérieurs et les groupes aquatiques, ceci tant au niveau des développements conceptuels et méthodologiques, que de la collecte de données, de méthodologies d'exploitation (indices de diversité fonctionnelle), et récemment la construction de bases de données. Ces compétences se sont notamment développées dans le cadre de projets internationaux (GCTE, projets européens) qui ne trouvent pas encore d'écho en termes de financement au niveau national, ce qui fait courir le risque de perdre une avance acquise à la faveur de pays maintenant mieux financés sur ce sujet (U.S.A. ou Australie).

Au niveau international, les initiatives et projets sur la documentation de la biodiversité abondent : Biodiversity Information Standards/TDWG, Indexing and Organizing Biological Names/uBio, GBIF, Catalogue of Life (Species 2000 + ITIS), Census of Marine Life « COML », Scar-Marbin, Genbank, ECPRG (Eurisico), Euforgen (Eufgis), Crop Wild Relatives, ETI Bioinformatics, TraitNet et TRY, etc. Tous sont autant d'acteurs dans le domaine de la connaissance/documentation de la biodiversité que tente aujourd'hui d'organiser le Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) du Group on Earth Observations (GEO), avec la récente initiative GeoBON (Biodiversity Observation Network). Une articulation claire entre le projet LifeWatch et le projet GEO BON est indispensable ; LifeWatch, dont le montage est

financé par l'Europe et qui est inscrit dans les TGIR françaises pourrait constituer le volet européen du programme international GEO BON.

C - VEROUS ET OPPORTUNITES : LES DEFIS

Les questionnements et le contexte évoqués ci-dessus illustrent les **défis que nous impose la nécessité d'une approche globale et intégrative**. Globale car la notion n'est plus simplement du ressort des sciences biologiques, mais également économique, sociale et politique; intégrative car ces défis nous obligent à traiter d'informations extrêmement hétérogènes, souvent complexes, liées à la perception humaine, mais aussi interdépendantes et surtout considérables par la masse de données qu'elles représentent. Par ailleurs, cette somme documentaire apparaît également fragmentée, inégale et dispersée à travers les champs disciplinaires.

Mutualiser cette connaissance si diversifiée passe par une rationalisation de l'information sur laquelle elle repose. Il faut que tous les types de données, malgré leur diversité d'origine, puissent être interfaçables. Seules des données ramenées puis codées à leur niveau primaire d'information pourront être utilement traitées. C'est là le moyen d'accéder à tous les facteurs pris en compte dans les exercices de modélisation et de réduire l'incertitude (voir le chapitre « Modéliser et scénariser »), d'articuler les échelles d'analyses et d'y intégrer les préoccupations sociétales.

Les défis à relever apparaissent ainsi clairement : comment développer un corpus de bases de connaissances qui puisse intégrer les données en tenant compte à la fois de :

- la diversité de leur nature (*qualitatives et quantitatives*) et des informations qu'elles portent (observations, organismes en collections, mesures scientifiques),
- des différents niveaux d'informations qu'elles renseignent (les échelles et niveaux d'organisation précités),
- leur interconnexion quels que soient les champs disciplinaires concernés,
- leur accessibilité à la communauté scientifique et à la société,
- leur stockage sur le long terme et
- des droits et propriétés qui leur sont attachés.

Trois thèmes principaux de réflexions émergent : 1) la collecte de l'information, 2) son traitement et son organisation et 3) sa gestion et son utilisation par la communauté scientifique et la société. Ces thèmes se déclinent en plusieurs défis majeurs qui se posent à la France.

1. La collecte de l'information, sa validation, son suivi temporel

S'il est à l'évidence taxonomique et écologique, ce point est aussi plus généralement celui de la connaissance globale de la biodiversité dans ses aspect descriptif et quantitatifs depuis les gènes jusqu'aux écosystèmes et territoires, des variétés cultivées ou races élevées aux formes sauvages, et en particulier des espèces, de leurs traits fonctionnels et de leurs interactions. Parallèlement, si la description des composants de la biodiversité est fondamentale, la description de sa

dynamique au travers du recueil des séries longues, des données de suivis et d'inventaires s'avère tout aussi indispensable.

La nature des données collectées est ainsi très hétérogène, depuis des spécimens, des graines, des gamètes ou des tissus, de l'ADN, des prélèvements environnementaux, des enregistrements images et sons,... mais aussi des observations de terrain (relevés d'inventaires, enquêtes sociétales en lien avec la biodiversité, descriptions de biotopes et paysages, ...), des mesures extrêmement diverses (fonctionnement d'interactions multiples, données climatiques, édaphiques, télédétection, ...), sans omettre ce qui touche à la diversité des savoirs. Quelle stratégie de collecte alors adopter ? Il convient avant tout de favoriser les études de synthèse et d'analyses des connaissances déjà acquises pour y identifier nos faiblesses (**'gap analysis'**), adapter nos stratégies et cibler ainsi les informations recherchées. Des études à différentes échelles de temps sont nécessaires afin de pouvoir appréhender la dynamique des changements touchant la biodiversité.

- Les défis de l'exploration et de la description de la biodiversité

Explorer et décrire les constituants de la biodiversité et leurs interactions reste une priorité. La très grande infrastructure de recherche mondiale que constituent ensemble les collections muséologiques avec près de trois milliards de spécimens conservés, a montré que la biodiversité est avant tout faite d'espèces/populations rares et locales et spécialisées sur un petit nombre de ressources. Cette notion d'endémicité et de spécialisation, qui n'est que la conséquence de l'évolution comprise comme un phénomène historique et unique, fait que les unités fonctionnelles de la biodiversité (gènes, populations, espèces et écosystèmes) ne sont pas directement interchangeables. De même, la base EURISCO comprend actuellement 1,1 million entrées pour 1450 genres et 8665 espèces correspondant aux collections ex situ de plantes cultivées entretenues en Europe : on peut y constater la forte spécialisation fonctionnelle qui peut exister entre variétés. Ainsi, la précision des modèles développés pour la biodiversité est-elle dépendante de la qualité et de la précision des données injectées. C'est pourquoi tous les indicateurs et les scénarios existants démontrent **la fragilité du socle de connaissances sur lequel les décisions s'appuient**. Malgré plusieurs initiatives internationales de grande ampleur, l'effort d'exploration de la biodiversité reste insuffisant et se heurte encore à un manque de volonté institutionnelle et à un manque de moyen financier.

Poursuivre l'effort de la collecte des données descriptives (depuis les molécules jusqu'aux écosystèmes, à la fois pour les micro- et les macro-organismes) reste fondamental. S'il repose en particulier sur le maintien d'une expertise systématique, écologique et génétique élargie permettant de traiter et valider les données, il faut saisir l'opportunité désormais offerte d'accélérer l'étape de **validation de l'information collectée** en poursuivant la mise au point d'outils fiables et rapides d'identification et de quantification des espèces (barcode, biopuces). La métagénomique est appelée à jouer un rôle important dans la description et le suivi des écosystèmes et des paysages à travers l'étude des communautés des organismes microbiens. Les évolutions récentes des techniques de séquençage de l'ADN induisent une augmentation exponentielle des données moléculaires disponibles. Il faut prévoir que la plupart des 5000 taxa énumérés actuellement - et qui correspondent approximativement au nombre d'espèces bactériennes associées

aux séquences d'ADN 16S décrites à ce jour - verront leur génome séquencé dans les 5 ans à venir. Le séquençage en masse d'ADN de microorganismes non cultivables et l'exploration de la diversité moléculaire intra-spécifique ('reséquençage') modifie fortement notre perception de ce compartiment parfois oublié de la biodiversité. Enfin, par ce qu'elle s'appuie avant tout sur des protocoles scientifiques d'inventaire et d'évaluation (suivi de populations, d'espèces et d'habitats), cette notion descriptive est tout aussi fondamentale à la biologie de la conservation qui traite de la perte, du maintien ou de la restauration de la biodiversité.

Qui dit effort d'exploration de la biodiversité dit identification et description des unités constitutives de la biodiversité et notamment des espèces, premier niveau d'appréhension et de quantification de la diversité biologique, et identification et caractérisation de leur diversité intra-spécifique. Cet effort se heurte à la **raréfaction rapide de l'expertise taxonomique à l'échelle française mais aussi internationale** (voir encart 5), ainsi qu'à la faiblesse de l'expertise en biologie des populations. Après la révolution conceptuelle de la discipline dans les années 80 et l'avènement de la biologie moléculaire, le défi de la systématique n'est cependant plus tant intellectuel que matériel (ressources humaines et budgets). La systématique reste un point faible de la recherche française : en 2005, la France dépensait en effet en moyenne 48 M€/an pour la Systématique, c'était autant que les Pays-Bas, et moins de la moitié du budget qu'y consacre la Grande-Bretagne (Consortium of European Taxonomic Facilities « CETAF », 2005). Ce champ disciplinaire doit de plus continuer à soutenir l'innovation, incarnée par des projets comme Plantnet qui vise à constituer des systèmes experts permettant la reconnaissance automatique de plantes à partir de simples photographies. De tels systèmes sont complémentaire de l'approche code barre qui est utilisable pour des inventaires approfondis, mais sans doute moins pertinent pour des suivis interannuels.

En parallèle, **les efforts de documentation des traits d'histoire de vie et des traits fonctionnels nécessitent aussi d'être amplifiés**, en particulier en ce qui concerne les organismes du sol (dont microorganismes), les arthropodes, et les organismes marins et aquatiques. Ici les besoins concernent non seulement la collecte de données mais aussi les développements conceptuels et méthodologiques en amont pour les organismes les moins étudiés de ce point de vue. Il faut ici se rappeler que les liens existant entre biodiversité, fonctionnement et services des écosystèmes, sont un des verrous majeurs pour établir des scénarios de biodiversité (voir chapitre « modéliser ») et que les connaissances acquises montrent que la composante fonctionnelle de la biodiversité est l'entrée indispensable pour comprendre et modéliser ces liens. En France, cet effort se heurte notamment à la perte de l'expertise en écophysologie qui a marqué les dernières décennies.

- Les défis du suivi des changements de la biodiversité

Il est bien connu que depuis l'apparition de la Vie sur Terre, la biodiversité n'a pas suivi un chemin tranquille et que son évolution a été jalonnée de fluctuations plus ou moins drastiques. On dénombre cinq crises majeures au cours des 500 derniers millions d'années de cette histoire. A ces cinq majeures s'ajoutent de nombreuses autres crises plus limitées dans l'espace et le temps et n'ayant touché que certains taxons, certains types de communauté, ou des régions précises. Toutes ces crises représentent autant d'expériences originales de ce que la biosphère a été capable de

traverser et de surmonter. Aucune ne correspond exactement à ce qui se déroule aujourd'hui, mais leur étude à différentes échelles (modifications des faunes et des flores, analyse des processus évolutifs, adaptation des taxons, paléo-macroécologie...), leur comparaison, et l'analyse de leur diversité doit permettre de mieux apprécier la capacité de réaction de la biosphère à une perturbation, y compris celle en cours, et de déterminer les facteurs environnementaux influents en contexte de crise comme dans les phases de récupération. **La connaissance approfondie des crises anciennes dont on peut apprécier les impacts et les issues, même si elles se sont déroulées dans des contextes bien différents, peut éclairer la situation actuelle, notamment à l'échelle des changements macroécologiques qui affectent les biomes.**

Sur des pas de temps plus courts, de l'ordre de quelques dizaines de millénaires, quels ont été les effets de l'installation des hommes et des premières sociétés humaines sur la biodiversité ? L'analyse de situations préhistoriques doit contribuer à mettre en perspective **l'impact d'*Homo sapiens* sur les autres composantes de la biosphère, notamment dans le contexte des fluctuations climatiques** du Plio-Pléistocène et de l'Holocène. Plus proche de nous encore, la période historique récente (deux ou trois derniers siècles) livre des témoignages d'un accroissement incontrôlé de la **pression anthropique** sur certaines ressources naturelles : avènement des pêches industrielles, intensification de l'agriculture s'appuyant sur la sélection végétale et l'amélioration des races animales, domestication de nouvelles espèces aquacoles, accès à des ressources préalablement totalement préservées comme celles de l'océan Austral, des grands fonds ou des forêts tropicales, ouverture croissante de l'Arctique à l'exploitation pétrolière et développement prévisible du trafic maritime dans ce biome longtemps préservé. De tels enregistrements historiques recèlent des enseignements utiles à la prédiction des réactions de la biodiversité face à une grande diversité de comportements humains.

Enfin, c'est aussi le suivi des changements à l'échelle de la période actuelle qui doit être enregistré. Il contribue à l'élaboration de critères scientifiques dans la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de la gestion du patrimoine naturel. Il permet de **quantifier les effets, de suivre les menaces, de vérifier l'adaptation ou d'analyser les causes de pertes de biodiversité** (destruction des habitats, surexploitation des ressources, changements climatique, pollution, invasions biologiques...). Les espèces exploitées, cultivées ou élevées en particulier, subissent des pressions importantes et leur suivi peut être particulièrement informatif.

Pris dans leur ensemble, ces événements passés ou présents offrent un véritable champ d'expérimentation scientifique : comprendre les réactions de la biodiversité dans des situations extrêmement diverses, fonction de l'intensité de l'agriculture, la chasse ou l'industrie, de la présence de l'homme, avec et sans le climat actuel, avec et sans tel ou tel grand écosystème, tel ou tel grand océan... En ouvrant sur ces différentes échelles de temps, la démarche historique permet de recalibrer les résultats des approches néontologiques et de préciser sur le long terme l'incidence de facteurs de variation de la biodiversité mis en évidence. Elle peut ainsi contribuer de manière forte à hiérarchiser l'importance des indicateurs de fluctuation de la biodiversité utilisés aujourd'hui, dans la perspective d'une meilleure maîtrise

des paramètres du développement durable. En terme de modélisation, les situations passées connues pourraient également être utilisées pour évaluer la pertinence des scénarios proposés.

Les changements globaux actuels, compte tenu de leur vitesse, posent de nouveaux défis. Il devient nécessaire de documenter en direct les changements de biodiversité, voire d'**anticiper des tendances qui auront des incidences significatives, alors même qu'elles ne sont pas encore très marquées** et que les processus évolutifs risquent de se dérouler dans un contexte inédit (émergence de nouvelles communautés...). **A ce niveau, la documentation ne peut se passer de la modélisation.**

2. Traitement et organisation de l'information

La donnée n'est pas nécessairement l'information, mais plus généralement une somme d'informations. Jusqu'à présent simple frein au développement des recherches, l'absence d'une réflexion sur l'organisation de l'information extraite des données collectées devient aujourd'hui un véritable verrou dès lors que l'on se place dans une approche holistique.

- Enregistrement et validation des informations : les bases de données informatisées

Le nombre de données collectées qui documente la biodiversité est considérable. Si un certain nombre d'entre elles sont des informations directement exploitables (données de type mesures), la plupart ont été collectées pour répondre à un questionnement précis ; elles sont alors souvent complexes, non-standards, en lien avec les seules autres données du projet et souvent sont perdues définitivement après l'emploi pour lequel elles avaient été collectées. Réduire la fragmentation et la perte de ces connaissances en rendant possible leur agrégation et interconnexion demande leur enregistrement au niveau primaire d'information que les données véhiculent, et leur **validation dans des bases de données informatisées**. A cette fin, une **recherche ontologique** est nécessaire pour circonscrire précisément en langage informatique l'ensemble des concepts qui interviennent dans le domaine de la biodiversité (voir le Biodiversity Information Standards/TDWG) ou l'Animal Trait Ontology (ATO), ou les initiatives d'ontologie pour les traits fonctionnels (TraitNet). Elle doit déboucher sur une **terminologie** aussi exhaustive que possible (Common Data Models, CDMs) des différentes informations qui documentent la biodiversité, en accord avec les règles internationales dans le domaine.

- Interopérabilité et standards

Cette terminologie doit être complétée par la mise place de référentiels communs, de standards de communication, de normes, de principes et des règles de ces échanges. En tenant compte de ce qui se fait déjà (normes ISO, Open Geospatial Consortium - OGC -, TDWG, GBIF, Shared Information Information System « SEIS », Infrastructure for Spatial Information in the European Community « INSPIRE », Global Invasive Species Information Network « GISIN » ...), **la France doit préciser les thésaurus de référence** qui définissent précisément le contenu et la signification des données qu'elle souhaite utiliser, et tout particulièrement ceux qui

la concernent directement (description standardisée de son territoire par exemple, ...). En d'autres termes, il faut bâtir un **dictionnaire standardisé de description de la biodiversité** permettant de recueillir, à la bonne place, l'ensemble de la documentation accumulée et à venir. Il en va de la cohérence du système des indicateurs que la France souhaite développer.

- Accessibilité et stockage

Plusieurs outils et initiatives existent déjà au niveau national et international pour permettre le stockage et faciliter l'accès à cette documentation, mais un inventaire national assurant la traçabilité des dispositifs de collectes et d'informations (bases de données et acteurs) doit être dressé. La construction de grandes ontologies biologiques (Collaborative Construction of Large Biological Ontologies (COB)) a ainsi été récemment proposée. En France, le Système d'Information sur la Nature et les Paysages (SINP) pour les données « observations », le point nodal français du Global Biodiversity Information Facility (GBIF-Fr) pour les données « collections », et le fonctionnement des réseaux français alimentant les bases de données ressources génétiques doivent être renforcés pour remplir pleinement leur **rôle de centre de collecte de données** (fonctionnement en réseau des multiples acteurs publics, privés et associatifs) et de **restitution normalisée de l'information** déjà acquise. Il apparaît indispensable de renforcer l'action de ces opérateurs dans la collecte des données de type suivis-inventaires, les séries longues qui renseignent la dynamique de la biodiversité. Le lien avec les mondes associatif, industriel et technique, qui se trouve au plus près de ce type de données est ici essentiel.

3. Gestion, valorisation et partage des données - Le défi juridique

Une réflexion urgente reste à mener sur le **droit et la propriété des données collectées sur la biodiversité**. La tâche est complexe et ne saurait être isolée d'une réflexion internationale. En raison de la présence de la France dans les zones de mégabiodiversité, notamment la Méditerranée, les Caraïbes, l'Océan Indien, la Nouvelle-Calédonie, la Polynésie et l'Amazonie, à travers en particulier les départements (DOM) et collectivités (COM) d'outre-mer, **la France doit jouer un rôle moteur pour mieux protéger et valoriser sa richesse "patrimoniale" dans le domaine de la biodiversité**. Comment, dans un contexte international et compétitif, organiser la propriété des données issues de recherche sur la biodiversité (données publiques ou confidentielles issues de la recherche académique, données privées issues par exemple des entreprises du secteur de la sélection génétique) ? Que peut-on faire avec ces informations ? Comment partager les compétences et donc les questionnements, sachant que certains sont plus porteurs de développement économique que d'autres, donc plus susceptibles d'être accaparés ? Comment citer la donnée/l'information et reconnaître à chacun son apport ? Comment répondre à la demande de rapatriement de l'information prévue dans la Convention sur la diversité biologique que la France a signée ? Ce sont autant de questions que ne peut ignorer le développement d'une stratégie de recherche en biodiversité et pour laquelle une position nationale est attendue. En particulier, trouver le juste équilibre entre les droits de l'auteur de la donnée et l'opérationnalité du dispositif, notamment la fluidité de la circulation des informations, est ici un défi qu'il faut impérativement relever.

La collecte, l'enregistrement, la validation, le stockage de l'information constituent des coûts non négligeables et chaque étape franchie apporte une valeur ajoutée : comment les notions de droit et de propriété vont-elles évoluer de concert au cours de ces différentes étapes ? Comment encadrer l'instrumentalisation de la valeur scientifique des données par les acteurs juridiques et politiques dont l'impact sur la biodiversité peut avoir des conséquences considérables si on en mesure pas à sa juste importance son caractère unique, historique ou par une interprétation trop superficielle de l'interchangeabilité de ses éléments ?

Parallèlement à ces questions se pose également celle de la gestion de l'information elle-même. Ainsi une diffusion irréfléchie de certaines données peut mettre en danger les espèces observées ou l'intérêt général (vandalisme, braconnage, biopiraterie, ...) et, inversement, la rétention de données importantes (documentant des bioindicateurs de qualité de l'eau ou de l'air par exemple, ou liées à des espèces d'intérêt économique, ...) pourrait mettre en danger des écosystèmes et/ou la santé de l'homme.

Enfin, la question du partage des données recueillies ne doit pas être oubliée. Comment assurer un partage « juste et équitable » au sens de la Convention sur la diversité biologique des connaissances, entre les Etats, entre les différents acteurs publics et privés ? Comment assurer l'accès du public à cette information comme le prévoit la Convention d'Aarhus de 1998 ratifiée par la France, qui porte sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement ?

D – PROPOSITIONS D'ACTIONS

Action 1 - Décrire et explorer la biodiversité à grande échelle est désormais à notre portée !

- Accélérer la connaissance de la diversité biologique par l'approche moléculaire

Le lien le plus direct et le plus élémentaire entre la donnée et l'étude de la dynamique de la biodiversité passe par l'identification des espèces et l'estimation de de leur diversité génétique, ainsi que par la quantification de leur abondance. L'estimation de la diversité génétique permet notamment de définir des populations, notion fonctionnelle fondamentale en écologie évolutive. Il convient à ce niveau que soient soutenus sur les plans logistiques et financiers les efforts de la communauté des taxonomistes et écologues français pour étendre l'utilisation des méthodes quantitatives, passant en particulier par l'utilisation des marqueurs moléculaires. Il convient en particulier de **développer une initiative nationale pour la généralisation de l'usage du code-barre ADN pour faciliter l'identification automatisée des taxons**. Cette initiative s'inscrit dans le projet international d'initiative canadienne International Barcode of Life « iBOL », lui même relié aux projets internationaux Consortium for the Barcode of Life « CBOL » et Barcode of Life Data System « BOLD ». De nombreux travaux récents ont démontré la pertinence de cette approche à condition qu'elle puisse s'appuyer sur une véritable expertise taxonomique. On soulignera l'utilité majeure de l'outil code-barre ADN dans les efforts nationaux et internationaux de surveillance et de détection précoce des invasions biologiques.

Comme l'ont révélé les toutes récentes campagnes d'exploration à grande échelle du vivant (Santo, 2006, Mercantour 2008,...), l'outil code-barre ADN, en détectant un grand nombre de nouveaux taxons qu'il convient de décrire et de nommer, alimente la recherche fondamentale et en particulier la recherche sur la notion d'espèce. La simplicité, et la puissance de l'outil (automates de séquençage moléculaire à très haut débit), sont d'ailleurs telles qu'elles **modifient la donne en matière d'inventaire exhaustif de la biodiversité qui apparaît désormais comme un objectif réaliste** ainsi que l'illustrent des programmes comme MARBOL (Marine Barcode of Life). Un inventaire des programmes d'exploration de la biodiversité terrestre et des projets en cours dans ce domaine pourrait constituer un préalable à une coordination internationale de ces efforts, première étape vers un programme international de très grande ampleur également à l'étude.

Au niveau intra-spécifique, les approches moléculaires sont désormais incontournables pour l'étude des phénomènes d'adaptation et de spéciation. La dynamique des génomes des espèces peut être étudiée par des 'scans génomiques' impliquant l'utilisation de techniques à haut débit. De manière similaire, la réponse des espèces à des changements d'habitat ou des changements environnementaux peut aujourd'hui être étudiée par approche transcriptomique et protéomique. Ces approches initialement développées uniquement sur des espèces modèles deviennent aujourd'hui accessibles pour un nombre croissant d'espèces (voir "Comprendre", action prioritaire 2). Cette approche moléculaire des processus d'adaptation doit pouvoir s'appuyer sur un effort en matière de documentation des traits d'histoire de vie et fonctionnels et de développements conceptuels et méthodologiques qui sont nécessaires en amont pour les organismes les moins étudiés de ce point de vue.

- Afficher une véritable ambition pour l'exploration du vivant

Que l'on se situe dans la perspective à moyen ou long terme d'un programme international d'exploration exhaustive de la biodiversité terrestre ou dans le contexte d'une planification d'échantillonnages rigoureux en termes d'écosystèmes, de biotopes, de groupes taxonomiques, d'espèces et de populations, **il importe de définir les priorités géographiques et "écosystémiques" de la France**. Il est en effet nécessaire d'assurer une **lecture conforme** entre les directives internationales et européennes et celles de niveau national et local, en lançant des appels à propositions pour des travaux de base en alpha-taxonomie pour :

- Mettre à jour les connaissances sur la faune et la flore française et européenne, en privilégiant notamment le **bassin méditerranéen** (l'effort entamé pour les plantes il y a plusieurs années doit être étendu aux animaux). En France métropolitaine, les biotopes d'altitude alpins et pyrénéens, les plus fragiles face aux changements climatiques, et les biotopes marins soumis à une très forte pression anthropique, doivent faire l'objet d'un effort tout particulier de suivis et d'inventaires. La biodiversité microbienne marine, des milieux d'eau douce et des sols doit aussi faire l'objet de programmes ambitieux de caractérisation à l'échelle nationale (par ex. plate-forme GenoSol).
- reprendre et compléter le relevé des **patrons taxonomiques des DOM et COM** (inventaires, descriptions, bilans taxonomiques, ...) avec en perspective

l'idée que ces régions constituent pour la France des portes d'entrée d'investigations scientifiques exceptionnelles sur de nombreux écosystèmes tropicaux terrestres ou marins de sa responsabilité.

- **Cibler certaines régions clés** où la France souhaite s'investir scientifiquement et mener une politique forte en faveur de l'exploration et la description de la biodiversité, dans le but de « connaître l'inconnu pour en comprendre le rôle écologique ». Si tous les points chauds de biodiversité de la planète, ou les environnements extrêmes (Antarctique, sources hydrothermales), sont des candidats potentiels à retenir en priorité, une logique de choix couplée avec la localisation géographique des DOM et COM pourrait prévaloir. Ainsi, la création en décembre 2008 d'un Centre Franco-Brazilien de la biodiversité amazonienne constitue une opportunité exceptionnelle pour mobiliser la communauté française, et à travers elle la communauté scientifique européenne, au bénéfice de la connaissance du fonctionnement de cet écosystème extrêmement fragile. Madagascar avec Mayotte et la Réunion, ou La Nouvelle Calédonie, constituent des laboratoires naturels exceptionnels pour l'étude et la modélisation de la biodiversité insulaire et marine et de sa dynamique dans un contexte d'anthropisation croissante et de multiplication des invasions biologiques. Les terres australes françaises, et notamment Les îles Kerguelen constituent aussi un laboratoire unique où suivre l'évolution rapide de la biodiversité dans un contexte de changement significatif des conditions climatiques. L'histoire de la France enfin, avec ses très riches collections conservées en métropole, pointe naturellement vers les écosystèmes savanicoles et forestier tropical humide d'Afrique et aussi vers le Sud Est Asiatique (Vietnam, Cambodge, ...), où les récentes initiatives françaises de recherche méritent d'être mieux soutenues et organisées.
- Du fait de l'étendue géographique du domaine maritime français et de l'importance économique et sociétale de l'exploitation des ressources halieutiques, **le domaine marin devra faire l'objet d'une attention particulière** pour alimenter l'étude de l'impact du changement global et des dégradations d'origine anthropique (contaminants, espèces invasives...) sur la biodiversité des zones côtières d'une part et de la haute mer et des mers profondes d'autre part. La mobilisation des compétences française autour de l'étude des écosystèmes coralliens fragilisés des territoires français du Pacifique constitue une priorité.
- Poursuivre la description et la caractérisation des ressources génétiques végétales, animales et microbiennes dans une perspective de valorisation et d'utilisation de ces ressources devra aussi être une priorité.

- Rebâtir l'expertise taxonomique nationale

La France doit **retrouver un niveau d'expertise taxonomique de base** au minimum dans l'ensemble des groupes d'intérêt économique, médical et vétérinaire, mais également dans ceux qui présentent une importance environnementale reconnue ou ceux qui pourraient être la cible privilégiée des changements globaux (dégager des indicateurs taxonomiques de la dynamique de la biodiversité). Au-delà de ces groupes d'intérêt, la France possède un leadership pour certains groupes taxonomiques qu'elle doit préserver tout en organisant une veille scientifique dans les autres (problème de l'identification des espèces invasives). Pour cela, la

complémentarité européenne doit être recherchée et organisée dans l'expertise taxonomique des groupes a priori de moindre intérêt. Un effort prioritaire et urgent est à prévoir pour renforcer les compétences en taxonomie en relation avec les recommandations de projets de la stratégie nationale de la France en matière de biodiversité.

- Des approches orientées taxons, comme des approches fonctionnelles, doivent pouvoir être menées sans complexe là où des compartiments entiers de connaissance restent à découvrir. Le monde des micro-organismes (bactéries, virus, champignons) devient une priorité alors que leur importance dans le fonctionnement des écosystèmes naturels et anthropisés se révèle chaque jour plus essentielle. Le recours croissant à l'expertise taxonomique pour répondre à des besoins de normalisation dans leur utilisation dans l'industrie le souligne également. Le monde des invertébrés Hexapodes, Crustacés, Nématodes ou Annélides, qui constituent la part majeure de la biodiversité doit faire l'objet d'un effort d'investigation à la mesure non seulement de leur importance numérique mais aussi du rôle qu'ils jouent dans les écosystèmes.

- Lutter contre la perte d'expertise écophysiological en France

La France doit **renverser la tendance récente de perte de compétence dans le champ de l'expertise en écophysiological végétale, animale et microbienne**. Comme la taxonomie, ces disciplines ont subi un net recul durant les dernières décennies. Ceci est peut être encore plus marqué dans le domaine de la microbiologie environnementale, où l'arrivée des techniques de biologie moléculaire a généré un net replis vis à vis de l'écophysiological microbienne. Or ces compétences apparaissent aujourd'hui comme indispensables pour assurer le lien biodiversité-fonctionnement-services écosystémiques notamment. La France possède encore un leadership pour certains aspects (diversité des relations plantes-eau ou microorganismes-azote, diversité fonctionnelle des champignons ou organismes aquatiques...) qu'elle doit préserver tout en identifiant les autres domaines où nos lacunes seront vite un frein au développement de la recherche en biodiversité.

- Se doter d'un cadre scientifique rigoureux de lecture de la dynamique de la biodiversité

On ne pourra pas accéder à une vision pertinente des fluctuations de la biodiversité hors d'un contexte phylogénétique, hors du cadre conceptuel de l'évolution biologique et hors du contexte de la dynamique des socio-écosystèmes. La pertinence des approches de modélisation du fonctionnement et de la dynamique de la biodiversité repose sur la possibilité de généraliser à une plus large échelle spatiale et temporelle les résultats issus d'études approfondies portant sur un nombre limité d'espèces modèles dans un contexte écologique souvent simplifié. La généralisation du modèle sous-entend, pour les groupes taxonomiques pris en compte, un principe d'interchangeabilité écologique des espèces et de leurs interactions au sein d'un biotope, d'un paysage ou d'un écosystème. Les limites de cette interchangeabilité résultent de l'endémisme et la spécialisation de la plupart des taxons. Il est indispensable de tester à grande échelle la validité de cette hypothèse.

Les outils de la systématique moderne, et notamment ceux de la phylogénie moléculaire, apparaissent ici incontournables.

De même, **documenter la dynamique des services écologiques doit se faire à travers différents niveaux d'organisation, sans nécessairement privilégier le niveau écosystème** : alors que certains services sont éminemment locaux (maintien de la fertilité des sols), d'autres sont exportables (tourisme vert) ou globaux (séquestration du carbone) ; l'entrée « écosystème » souvent privilégiée jusqu'ici n'est donc pas nécessairement la bonne pour documenter et suivre ces services. Dans le cas des paysages ou territoires complexes fortement marqués par les activités humaines, souvent mosaïque d'écosystèmes, une réflexion toute particulière s'impose quant aux niveaux d'organisation pertinents à considérer et à l'importance des agencements spatiaux et écotones à considérer pour documenter la dynamique des services écosystémiques.

- Mener une réflexion nationale sur l'expertise et les ressources taxonomiques concertée avec les politiques européenne et internationale

Le CETAF (Consortium of the European Taxonomy Facilities) et les réseaux d'excellence comme Alter-Net (A Long-Term Biodiversity, Ecosystem and Awareness Research Network), MarBEF (Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning), EDIT (Toward an European Institut of Taxonomy)... au niveau Européen, ou l'OCDE (Major Science Initiative on Taxonomic Collections Goal) au niveau international développent actuellement les outils et les projets pour répondre au défi taxonomique. Cette réflexion doit être reprise et articulée au niveau français entre le MNHN, les organismes de recherche concernés en priorité (CIRAD, CNRS, INRA, IRD, IFREMER,...) et les universités. Un bilan des compétences (expertises) et des ressources (collections, bases de données taxonomiques) existantes et des lacunes à combler prioritairement devra être entrepris pour une répartition des efforts en matière de formation et de créations de postes.

Une part importante de l'information sur la biodiversité se trouve liée aux collections traditionnelles ou plus récentes, notamment au sein des CRB. Avec près de 110 millions de spécimens conservés en collection, la France occupe une place enviée au niveau international. Les données biologiques attachées à ces collections constituent un registre exceptionnel d'informations sur les 300 dernières années, mais également sur le plus long terme avec les collections paléontologiques. Établir un réseau de ces collections muséales et recueillir en base de données informatisée cette masse considérable d'informations pour la mettre à la disposition de la communauté scientifique et la société (tout en assurant le retour de l'information aux pays d'origine selon les directives de la Convention sur la Diversité Biologique) permettrait d'améliorer et d'affiner les actions modélisation et prédiction sur la dynamique de la biodiversité.

Action 2 - Documenter les facteurs à l'origine des changements et pertes de biodiversité

Si un but majeur des recherches sur la biodiversité est sa préservation, il est essentiel de connaître les causes actuelles de son érosion. Un effort important doit par conséquent être consenti sur les aspects causaux à plusieurs échelles.

Au niveau global, il est important de caractériser les grands moteurs de changements globaux affectant la biodiversité, tels que les changements climatiques et atmosphériques, les changements d'occupation des sols, la pollution ou les invasions biologiques. Ceci implique par exemple de diffuser largement et rendre accessibles aux échelles pertinentes les données climatiques passées et les scénarios climatiques futurs, régulièrement mis à jour et régionalisés à des échelles fines. Les études permettant de scénariser l'évolution de ces changements ainsi que leur impact au niveau global restent très minoritaires et encore inadéquates malgré leur valeur évidente. On pourra ainsi citer les travaux pionniers sur les effets probables des changements climatiques qui indiquent un taux d'extinction supplémentaire de 15 à 37% d'ici 50 ans du seul fait de l'élévation de température ; de telles approches constituent un modèle pour des travaux futurs. Un effort similaire est celui de l'UICN France qui a commencé à répertorier l'ensemble des informations sur les espèces envahissantes en France métropolitaine et d'Outre-Mer. Les travaux de ce type doivent se multiplier et être approfondis (notamment passer par des étapes de quantification et de prédiction) afin d'établir un **état global des différents forçages écosystémiques** en présence.

Au niveau de certains écosystèmes ou de certaines régions, la démarche nécessaire est d'identifier les causes spécifiques locales, de les caractériser et de les quantifier, afin de pouvoir développer des stratégies de recherche et d'actions qui soient adaptées aux écosystèmes considérés. On pourra ainsi développer des axes de recherche pour une meilleure connaissance des zones humides du Sud Ouest de la France, de **l'origine et de l'étendue des menaces sur ces régions spécifiques et des moyens à mettre en œuvre pour lutter contre elles**. Les recherches à ce niveau seront nécessairement plus axées sur des niveaux d'écologie des communautés, de fonctionnement des écosystèmes (écologie fonctionnelle) et d'intégration des activités humaines (création et gestions de réserves naturelles, mais aussi économie locale, aménagement du territoire, coutumes et savoirs ancestraux, etc...)(voir aussi axe "Comprendre").

Au niveau intraspécifique, l'homogénéisation relative observée dans de nombreuses espèces domestiquées ou cultivées, ainsi que dans plusieurs espèces menacées (guépards, tamarins-lions, etc...), doit être quantifiée et suivie.

L'étape de documentation des causes de déclin de la biodiversité et des processus par lesquelles elles opèrent ne constitue qu'une étape préalable, mais indispensable, aux recherches plus finalisées visant à optimiser la gestion des ressources naturelles, regroupées classiquement sous le champ de « biologie de la conservation ».

Action 3 - Construire des bases de données informatisées, mettre à disposition l'information

Les opérateurs nationaux que sont par exemple le SINP, le GBIF-Fr, les réseaux ressources génétiques constituent des leviers d'action forts, déjà en place pour une politique nationale coordonnée et une stratégie de développement de la connaissance en biodiversité. Ils assurent des systèmes d'information et d'alerte efficaces et pérennes (y compris pour les dynamiques sociales touchant à la biodiversité) et dans, leur prolongement, garantissent l'interface indispensable (mise en place et suivi) avec les structures internationales actuellement en projet (initiative

LifeWatch par exemple). En jouant pleinement leur rôle de **passerelle d'échange** vers les initiatives similaires aux niveaux européen et international, ils permettent de renforcer le rôle d'acteur international que la France souhaite jouer dans les domaines de la biodiversité.

En rassemblant ce corpus de données normalisées et informatisées, on fournit ainsi une documentation de qualité pour alimenter les étapes suivantes d'analyse des données, de compréhension de la dynamique de la biodiversité et de modélisation (axes 2, 3). Cependant, la diversité des acteurs (privés, publics, et associatifs), l'hétérogénéité des informations qui seront collectées et la disparité des outils déjà mis en oeuvre imposent de réfléchir à une **structure organisatrice pérenne** qui coordonnera le fonctionnement nécessairement distribué d'une telle initiative. Plusieurs pistes ont été récemment évoquées par les ministères (Observatoire national de la biodiversité par le MEEDDAT, TGIR LifeWatch par le MESR) ; elles vont toutes dans ce même sens, mais les réflexions doivent maintenant être articulées sous une forme qui permette d'associer et de coordonner le recueil des données sur la biodiversité à l'échelle nationale et la gestion de celles-ci sous la forme de bases de données normalisées et interactives. C'est le projet, appelé ECOSCOPE et présenté ci-après.

La France trouvera ainsi à sa disposition les bases de connaissances organisées nécessaires à sa future recherche en biodiversité, et l'occasion de transgresser des frontières disciplinaires encore trop souvent bien étanches.

Action 4 - Vers un « ECOSCOPE » : coordonner les observatoires de la biodiversité et la gestion des données sur la biodiversité au niveau national dans une perspective européenne et internationale.

L'ensemble des thématiques exposées dans les actions précédentes convergent vers la nécessité que la communauté scientifique française puisse disposer d'outils et de moyens à la hauteur des enjeux et des questions posées. L'outil prioritaire qui permettra d'y répondre est la mise sur pied d'une structure coordinatrice pérenne qui s'apparente à une Très Grande Infrastructure de Recherche (TGIR), qui en emprunte la rigueur et certaines des modalités de gestion et d'évaluation, mais qui fonctionne de manière distribuée. Une telle structure (éventuellement baptisée ECOSCOPE⁵) aura pour rôle d'animer et de synchroniser la collecte des données (via des réseaux professionnels ou amateurs dont certains existent ; la plupart restant toutefois à développer sur des bases scientifiques rigoureuses). Elle pourra s'appuyer, en les structurant autour de la stratégie nationale pour la biodiversité, sur les réseaux des observatoires existants ou à créer et fonctionnant pour diverses échelles (in vitro, en milieu cultivé [réseaux des ressources génétiques], en conditions expérimentales [écotrons] et in natura) et permettant d'archiver de longues séries temporelles.

A un premier niveau, elle sera en charge d'archiver, d'organiser la collecte et la distribution des données. A un second niveau, elle devra contribuer à l'intégration des données dans des modèles (voir axe "Modéliser et scénariser") : développement d'algorithmes, aide aux utilisateurs, réponse à des demandes issues de tutelles ou de

⁵ Le terme "Ecoscope" est déjà utilisé pour un projet du Centre de Ressources Halieutiques de Sète (CRH). On pourrait donc parler ici d'Ecoscope National.

la société civile. Elle aura également un rôle de formation à destination d'un public scientifique (de type formation permanente), mais aussi tournée vers la société civile (monde éducatif, citoyens) et les décideurs du monde économique ou politique (cycles de conférences). Son fonctionnement supposera notamment de disposer de ressources humaines en systématique, écologie fonctionnelle, évolutive et du paysage, mais aussi en économie, sociologie ou géographie, ainsi que de techniciens spécialisés, et d'y adjoindre une science participative contrôlée (appui nécessaire des associations en partenariat avec les scientifiques). Ceci impliquera aussi de s'appuyer sur des moyens modernes (barres codes génétiques, éco-informatique). De telles ressources pourraient s'apparenter à un corps des "observateurs de la biodiversité". Ceci positionnerait également la France en leader potentiel dans le développement d'opérations à plus grande échelle, européenne par exemple.

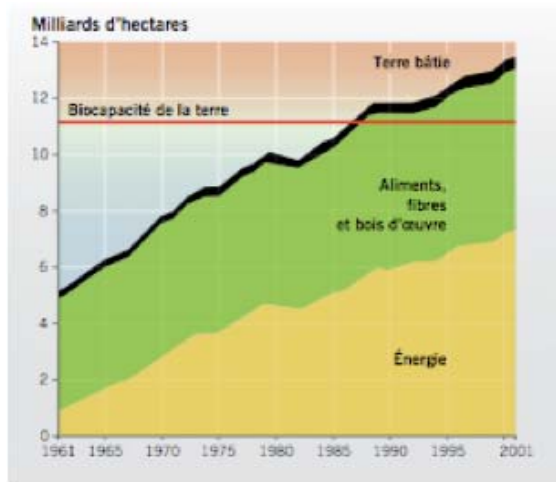
Un tel projet, dont le montage devra nécessairement prendre en compte et tirer profit des réflexions et travaux menés dans le cadre de la mise en place du SINP (MEEDDAT), devrait ainsi trouver son intégration dans la contribution française à des initiatives européennes (en devenant par exemple composante française du projet européen LifeWatch) et internationales (GEO BON). Il pourrait démarrer avec la mise sur pied d'un comité de projet chargé d'en explorer à la fois la dimension scientifique et opérationnelle. Un tel comité devrait assurer la bonne coordination entre les organismes de recherches, les associations et les industriels. Sa tâche principale sera de promouvoir la mise sur pied d'une structure qui devra s'inscrire dans la durée. Une fois mise sur pied, elle devra s'appuyer sur un conseil scientifique et un conseil de gestion garant de la qualité scientifique et du suivi logistique des opérations retenues.

Cette structure s'appuyera sur des observatoires (à créer ou existants) fonctionnant à diverses échelles (*in vitro*, en milieu cultivé [réseaux des ressources génétiques] et *in natura*) et permettant d'archiver de longues séries temporelles. Elle aura pour rôle d'archiver, d'organiser la collecte et la distribution des données, puis de contribuer à leur intégration dans des modèles. Elle aura également un rôle de formation à destination d'un public scientifique (de type formation permanente), mais devra aussi être tournée vers la société civile (monde éducatif, citoyens) et les décideurs du monde économique ou politique (cycles de conférences). Son fonctionnement supposera notamment de pouvoir faire appel à des ressources humaines en systématique (académiques *ou non*) et en écologie, à des techniciens spécialisés, d'y adjoindre une science participative contrôlée (appui nécessaire des associations en partenariat avec les scientifiques), et de s'appuyer sur des moyens modernes (barres codes génétiques, éco-informatique). De telles ressources pourraient s'apparenter à un corps des "observateurs de la biodiversité" ce qui témoignerait d'un engagement fort en faveur de la cause "biodiversité" tel que prévu au Grenelle.

ENCART 5 : Documenter les pressions de plus en plus fortes qui s'exercent sur la biodiversité

La modification des habitats (destruction, dégradation, fragmentation), les changements d'occupation des sols, la pollution des sols/des eaux/de l'air, les invasions biologiques, ainsi que la surexploitation directe d'espèces constituent les principales menaces pour la biodiversité.

Modifications des habitats et changements d'occupation des sols ainsi que pollution sont des pressions s'exerçant de plus en plus fortement sur la biodiversité, du fait de l'utilisation croissante que l'homme fait du capital naturel de la planète. En exploitant les statistiques publiées, la **notion d'empreinte écologique** permet de calculer les superficies de terre et les volumes des ressources en eau nécessaires à l'existence d'une population humaine donnée, compte tenu de son niveau de vie déterminé à partir de sa consommation d'énergie, d'aliments, d'eau, de matériaux de construction et d'autres biens consommables. L'empreinte écologique a été calculée au niveau mondial à partir des statistiques de l'Organisation des Nations Unies et d'autres données fiables. À la figure X1 est indiqué le rapport pour chaque année entre les demandes (croissantes) de l'humanité et la capacité de production de la terre, ou biocapacité (ligne rouge), et comment ce rapport a changé dans le temps. L'humanité, qui en 1961, en valeur nette, utilisait environ la moitié de la biocapacité de la planète, utilisait en 2001 1,2 fois cette biocapacité. La demande mondiale de ressources excède alors la capacité biologique de la terre à les reconstituer d'environ 20 %. En d'autres termes, il faut à la biosphère une année et trois mois environ pour renouveler les ressources que l'humanité utilise en une année. Ce « déficit écologique » ou « dépassement » signifie que les ressources des écosystèmes s'épuisent progressivement, que les déchets s'accumulent dans la biosphère et que le potentiel naturel pour l'avenir est réduit. Ce déficit s'explique car les forêts, par exemple, sont coupées plus vite qu'elles ne croissent, les poissons sont pêchés à un rythme plus rapide que celui auquel ils se reproduisent naturellement, l'eau est prélevée plus rapidement que les aquifères ne se reconstituent, et le dioxyde de carbone (CO₂) est libéré plus vite qu'il n'est piégé. Pour la recherche, correctement documenter les bouleversements actuels et futurs de la biodiversité implique donc nécessairement de documenter de façon adéquate l'ensemble de ces pressions anthropiques.

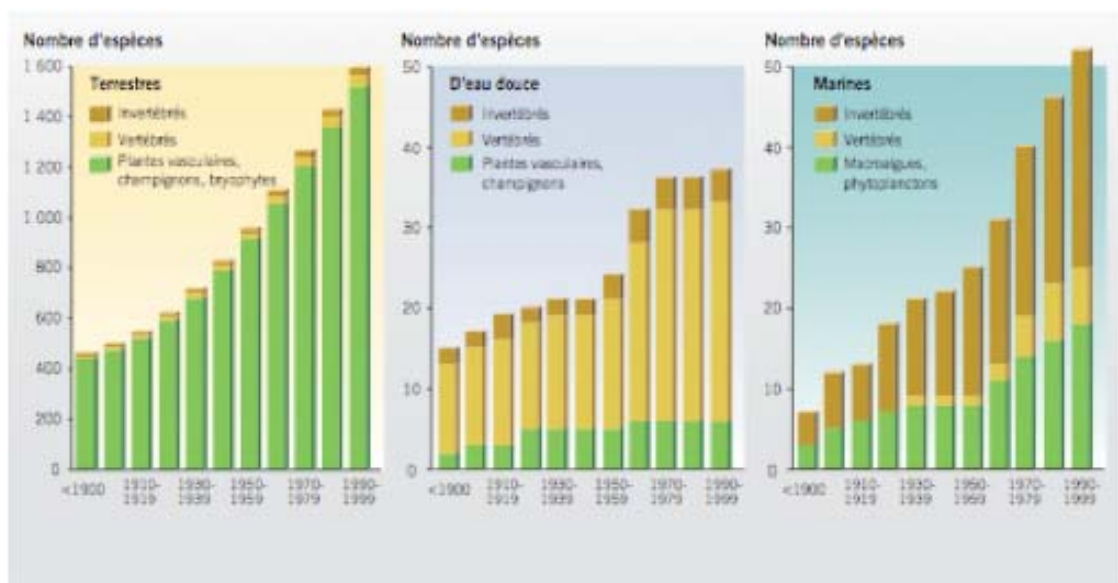


Source : Fonds mondial pour la nature, Centre mondial de surveillance continue de la conservation de la nature du PNUE, Réseau mondial empreinte écologique, 2004¹⁸

Figure 5.1. Evolution sur la période 1961-2001 de l'empreinte écologique mondiale de l'homme.

Par ailleurs, les espèces exotiques envahissantes peuvent avoir des effets dévastateurs sur les écosystèmes naturels et cultivés et provoquer l'extinction d'espèces. Des auteurs estiment que, depuis le XVII^{ème} siècle, ces espèces ont contribué à hauteur de 40 % environ à l'extinction des espèces animales dont on connaît la cause d'extinction. Au cours des dernières années, le rythme auquel les espèces exotiques ont été introduites s'est accru sensiblement (Figure X2), tout comme les risques qu'elles représentent. L'introduction d'espèces exotiques dans le milieu marin a principalement pour origine la contamination des cales et le rejet des eaux de ballast des navires. 75 % des 150 espèces récemment introduites dans les Grands lacs proviennent de la mer Baltique. De même, les flux migratoires de la mer Rouge vers la Méditerranée par le canal de Suez se poursuivent sans discontinuer

; près de 300 espèces, dont des crustacés décapodes, des mollusques et des poissons, ont pénétré en Méditerranée depuis 1891. Les données portant sur une longue période provenant de pays nordiques, qui ont permis d'enregistrer l'accumulation du nombre d'espèces envahissantes ayant gagné les écosystèmes d'eau douce, marins et terrestres depuis 1900, montrent que la migration de plantes, de vertébrés et d'invertébrés se poursuit (Figure X2). Enfin, le Comité français de l'UICN recense 42 espèces de vertébrés exotiques et près de 300 espèces végétales qui représentent une menace déjà réelle ou potentielle pour les écosystèmes d'outre-mer. Nombre de pays disposent de systèmes de surveillance et de contrôle pour prévenir l'apparition de ces espèces et tenter d'en venir à bout. La recherche a encore beaucoup à apporter ici pour mieux comprendre pourquoi une espèce introduite devient envahissante et pour quantifier plus précisément la menace que présentent ces espèces pour la biodiversité ainsi que les coûts économiques qui leur sont associés. Une question à part entière est notamment de savoir dans quels cas une espèce invasive est une catastrophe contre laquelle il faut lutter, et dans quels cas elle est une opportunité permettant l'émergence d'un nouvel écosystème rendant des services comparables au précédent, par exemple en prenant la place d'une espèce condamnée.



Source: Réseau nordique/Baltique sur les espèces envahissantes

Figure 5.2. Augmentation au cours du dernier siècle du nombre d'espèces envahissantes enregistrées dans les écosystèmes terrestres, d'eau douce et marins.

D'après le rapport CDB « Global Biodiversity Outlook 2 » <http://www.cbd.int/doc/gbo/gbo2/cbd-gbo2-fr.pdf>
 Voir aussi le rapport « une expertise de l'empreinte écologique » (commissariat général au développement durable, mai 2009)

ENCART 6 : LA RECHERCHE EN TAXONOMIE AUJOURD'HUI ET SON TALON D'ACHILLE

Jusqu'à récemment le systématicien pouvait participer avec efficacité à l'ensemble des tâches reconnues de la systématique. Son activité était naturellement intégrée par la succession implicite de ses tâches. Il était formé à pouvoir toutes les remplir, dont une activité de collection de conservation et de valorisation qui renforçait la cohérence de son action. La recherche d'une plus grande efficacité sur le terrain assujéti à des réglementations nationales de plus en plus contraignantes, la spécialisation des approches phylogénétiques et la complexité des méthodes d'analyse subséquentes, l'arrivée des approches moléculaires et enfin la nécessité de standards informatiques visant à l'interopérabilité des données contraignant à mettre en œuvre, rendent désormais caduque un tel schéma

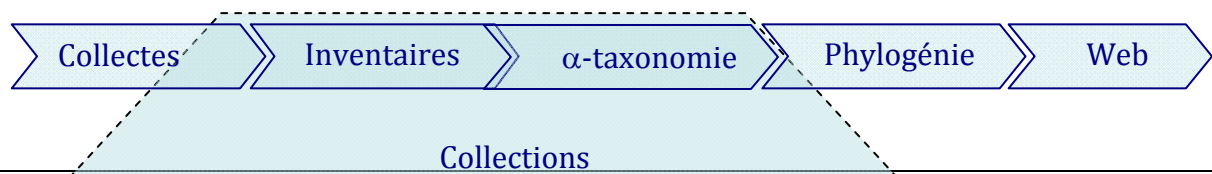


Fig. 6.1. Vision traditionnelle de la succession des tâches à accomplir par le systématicien.

Les pratiques actuelles de la Systématique s'organisent désormais autour de grands objectifs : Exploration, Identification et Description de la Biodiversité, Organisation des données via la phylogénie, Accessibilité aux informations, et Conservation et Valorisation des Collections. A chacun de ces objectifs, des réponses nationales (BAP F) européennes (LifeWatch, Synthesys, ...) ou internationales sont apportées (grands projets sur le moyen terme) qui génèrent de nouveaux métiers d'experts (techniques ou scientifiques). On identifie clairement le Handicap Taxonomique mondial au niveau de l'objectif 'Description' pour lequel aucune réponse n'a pu être formulée jusqu'à présent. Au-delà des efforts du réseau d'excellence européen EDIT, conduit par la France, la cohérence de ces actions centrifuges ne pourra être assurée durablement que par l'informatisation des données taxonomiques, l'interopérabilité des bases de données qui les stockent et des outils d'analyses qui les traitent.

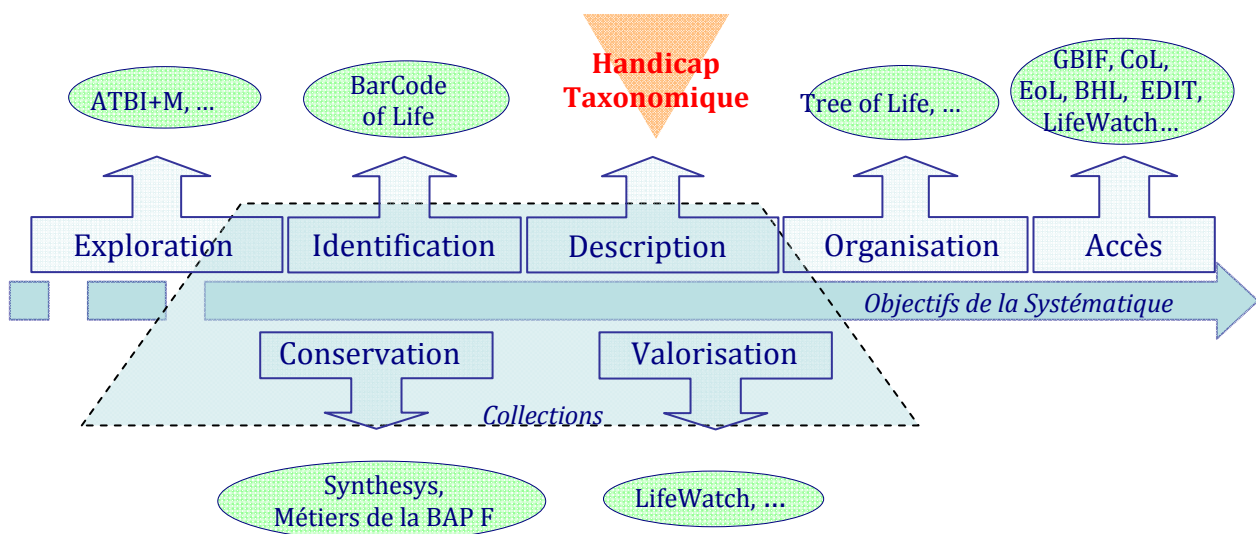


Fig. 6.2. Vision renouvelée de la démarche en systématique et identification du handicap taxonomique.

ENCART 7 : L'ETUDE DU METAGENOME ET SES PROMESSES POUR L'ETUDE DE LA BIODIVERSITE MICROBIENNE

Dans le contexte de la biodiversité, les microorganismes sont loin d'avoir livré tous leurs secrets. On considère en effet que seuls 20% de la flore intestinale de l'homme a été caractérisée à ce jour et que plus de 95% des microorganismes du sol restent à ce jour inconnus. Or, ces communautés microbiennes complexes exercent non seulement une influence considérable sur la physiologie des autres organismes avec lesquels elles vivent en interaction, mais agissent aussi sur le cycle biogéochimique des éléments de la biosphère, qu'ils soient d'origine naturelle ou résultant d'activités humaines.

Jusqu'à une époque récente, les microorganismes étaient étudiés majoritairement après leur isolement réalisé sur des milieux sélectifs. Nombre d'entre eux ne peuvent cependant être cultivés, rendant ainsi largement inexplorés des pans entiers du monde vivant. Le développement récent des méthodes moléculaires, en particulier celles reposant sur le séquençage à haut débit, permet de contourner cet obstacle et d'aborder l'extrême diversité des microorganismes présents dans le milieu naturel. Ainsi, au lieu de caractériser les organismes individuellement après les avoir préalablement purifiés, il est maintenant possible de caractériser les communautés microbiennes dans leur globalité. Une telle approche permet d'explorer ce qui était jusqu'alors inexplorable, en rendant possible l'accès au grand nombre d'espèces non cultivées en conditions de laboratoire.

Pour mettre en oeuvre une telle approche, dite métagénomique, la communauté microbienne est extraite d'un échantillon environnemental d'intérêt, son ADN est ensuite isolé et séquencé en ayant recours aux méthodes les plus récentes, comme le pyroséquençage. Selon le degré de complexité de la communauté, les données peuvent être assemblées de manière à reconstruire le génome des microorganismes présents dans l'écosystème. Une analyse informatique des séquences obtenues est également réalisée afin d'identifier les fonctions importantes. De telles méthodes devraient permettre de dresser un inventaire des microorganismes, y compris les espèces non cultivables, présents dans les écosystèmes les plus divers, des sources hydrothermales au système digestif des animaux supérieurs, en passant par les sites contaminés par les activités humaines ou l'environnement racinaire des plantes cultivées.

A terme, des techniques novatrices permettront de préciser la diversité des processus microbiens qui gouvernent les flux de matière et d'énergie au sein des écosystèmes (chapitre « comprendre »). Elles favoriseront aussi l'identification d'importants bioindicateurs des écosystèmes, permettant d'en évaluer l'évolution, en particulier dans le cas d'une forte pression anthropique. Enfin, l'emploi de ces méthodes débouchera sur la synthèse de nouvelles enzymes d'intérêt agro-alimentaire ou exploitables dans la mise au point de procédés innovants de bioremédiation d'environnements contaminés (chapitre « innover »).

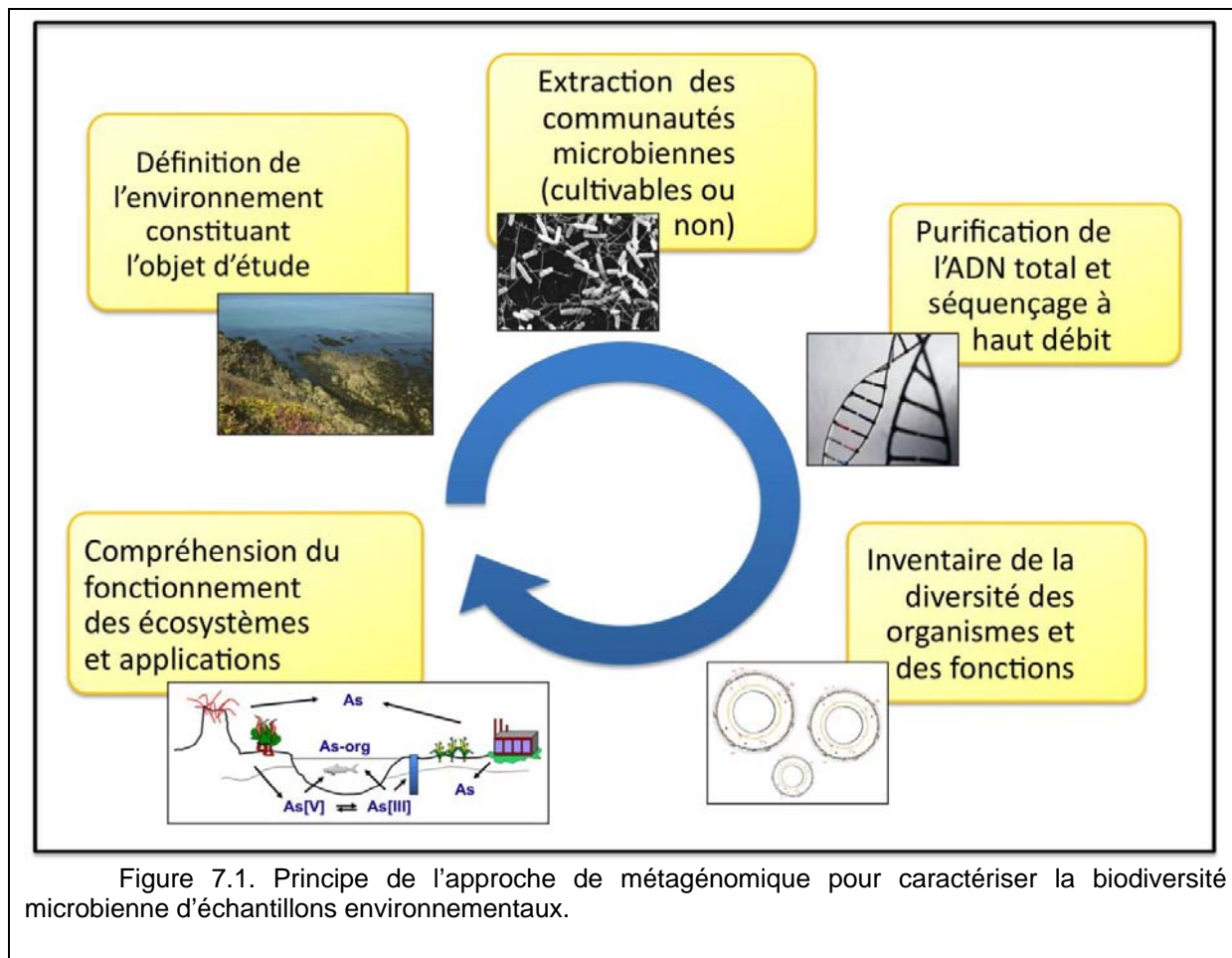


Figure 7.1. Principe de l'approche de métagénomique pour caractériser la biodiversité microbienne d'échantillons environnementaux.

COMPRENDRE LES MECANISMES ECOLOGIQUES ET SOCIO-ECONOMIQUES SOUTENDANT LA DYNAMIQUE DE LA BIODIVERSITE ET DES SERVICES ECOLOGIQUES

« Pour bien représenter la nature, tous ces éléments doivent être vu comme étant presque constamment en mouvement - apparaissant, disparaissant, fusionnant, se séparant et se déplaçant latéralement, et par moment ressemblant plus à une mer agitée qu'à un paysage immobile »

G. G. Simpson, 1953

A - ENJEUX ET QUESTIONNEMENTS

Décrire et analyser les mécanismes évolutifs, écologiques, économiques et sociaux de la dynamique de la biodiversité et des services écologiques est indispensable pour :

- Mieux interpréter les phénomènes observés, notamment en articulant les différentes échelles de temps et d'espace - par ex. pour une meilleure interprétation des changements de répartition des espèces et des changements de services écologiques.
- Appréhender avec une plus grande précision l'incertitude associée aux changements de biodiversité prédits par les modèles (chapitre 4), et en attribuer la part liée à la méconnaissance des mécanismes (par rapport à celle liée à des limites des données ou des modèles disponibles).
- Et *in fine* alimenter les aspects modélisation et valorisation de la biodiversité.

La connaissance insuffisante de la biodiversité et des processus en jeu dans sa dynamique ainsi que dans ses relations avec celle des sociétés humaines pose en effet aujourd'hui des limites lourdes à la prédiction (modèles, voir chapitre « modéliser et scénariser ») et à l'action (conservation, valorisation, ingénierie : voir chapitre « Mieux intégrer »). Un enjeu clé est donc de piloter l'acquisition de connaissances de manière interactive avec ces activités. Ceci concerne notamment :

- l'affinement de modèles existants par l'inclusion de processus nouvellement compris et ignorés jusque là,
- la construction de modèles selon des logiques innovantes,
- l'élaboration de scénarios avec des composantes évolutives, écologiques et humaines plus pertinentes, et
- la validation des projections par des approches expérimentales.

Dans ce contexte, **la pertinence des observations et de l'expérimentation à échelle locale pour la modélisation et la prise de décision à macro / méso échelle reste une question délicate.**

Plus précisément, il s'agit d'identifier les paramètres (ou variables) clés et les processus associés, en particulier (i) en distinguant les variables exogènes et celles qui sont endogènes ; (ii) en faisant la part des différents paramètres dans les chaînes de causalité - sachant que les variables expliquant certains paramètres sont les variables explicatives des autres ; (iii) en expliquant les sens des changements, la réversibilité (ou non) des processus ; et (iv) en combinant les observations et les expérimentations à différentes échelles pour comprendre les interactions entre variables.

D'un point de vue cognitif, la notion de système homme-environnement est un concept récent pour les sciences naturelles, bien qu'il le soit moins pour les sciences de l'homme et de la société. Ce concept demande d'une part à être co-construit entre différents domaines disciplinaires, et d'autre part à être communiqué et enseigné pour être partagé par l'ensemble de la communauté travaillant sur la biodiversité. Dans ce contexte, **la notion de service écologique (apparentée à celle des rôles et usages de la biodiversité) émerge avec une importance croissante comme notion clé pour l'articulation entre les écosystèmes et les sociétés.** Les services écologiques, portés à la connaissance plus large des sphères scientifiques et politiques par le Millennium Ecosystem Assessment, sont une interface essentielle entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes d'une part et les sociétés humaines d'autre part. La compréhension de leur dynamique impose de s'intéresser aux demandes de la société par rapport à ces services. Il s'agit aussi de comprendre les interactions entre cette demande et le fonctionnement des écosystèmes selon les trois composantes suivantes : (i) les effets directs de la pression humaine sur le fonctionnement des écosystèmes (forçages directs) ; (ii) les effets indirects correspondant aux effets de cette pression sur la biodiversité, qui elle-même influence le fonctionnement ; (iii) ces deux ensembles d'effets se traduisent par des changements de services écologiques, conséquences du fonctionnement des écosystèmes et de ses modifications pour la satisfaction et l'évolution de la demande de la société. Les questions de réponses non-linéaires, de rétroactions et en général de dynamiques complexes sont centrales ici. Ce type d'analyse de systèmes couplés peut aller jusqu'à l'étude des interactions co-évolutives homme-reste des écosystèmes.

Au vu de ces enjeux, cinq grands domaines (non exclusifs) de questionnements sont identifiés comme prioritaires. La **compréhension des interactions** réciproques – au sein de chacun des compartiments écosystème et système humain, et entre ces deux compartiments – est un point commun fort de ces questionnements. De même l'**analyse explicite des échelles concernées et des pas de temps, ainsi que des interconnexions entre échelles** reste une question centrale non résolue et qui doit constituer une trame pour l'ensemble des questionnements. En particulier, il est essentiel de considérer les effets et mécanismes associés à la variabilité spatio-temporelle des milieux et des sociétés, la question des capacités de résilience, et l'articulation entre dynamiques court terme – long terme, que ce soit pour les écosystèmes ou pour les sociétés. La prise en compte des échelles historiques (archéologie, paléoécologie, histoire de l'environnement) est donc ici essentielle. Les analyses diachroniques sur de très

longs pas de temps et l'analyse des adaptations passées pour mieux comprendre les dynamiques actuelles sont particulièrement importantes.

• **Questionnement 1 : Quels sont les causes et mécanismes des modifications de la biodiversité ?**

Des efforts considérables ont déjà été consacrés pour comprendre les causes et mécanismes des changements de biodiversité. Mais les progrès réalisés ont permis de mettre aussi en lumière des lacunes importantes et des points de blocage pour proposer des scénarios de modification de la biodiversité en réponse aux changements globaux. Les 6 thématiques de recherche prioritaires dans ce contexte sont les suivantes :

- a. **Séparer la dynamique 'naturelle' de la biodiversité des effets des forçages anthropiques.**
- b. Quantifier le **poids relatif et les interactions de différents facteurs de forçage** dans les dynamiques observées ou attendues.
- c. Comprendre les **interactions biotiques** (*sensu largo*) et leurs mécanismes pour comprendre leurs modifications sous des conditions variables ou nouvelles.
- d. Identifier les **mécanismes d'assemblage / désassemblage / ré-assemblage des communautés afin de produire des scénarios de changement de biodiversité** (extinction, colonisation, etc.) notamment pour les expérimentations sur le fonctionnement des écosystèmes, en interface avec les modèles.
- e. Comprendre les **mécanismes évolutifs** (y compris co-évolution) en réponse aux forçages anthropiques multiples (en cascade ou simultanés) ; identifier leurs impacts sur la structure et la dynamique de la biodiversité (par exemple amplification ou atténuation des probabilités d'extinction, de colonisation, de diversification et de spéciation).
- f. Quantifier les **modifications des structures génétiques des espèces domestiquées et sauvages par les actions humaines** (e.g. élevage et systèmes de culture, gestion *ex situ* et *in situ*, amélioration génétique, OGM...) et leurs conséquences en termes de potentiel adaptatif pour ces espèces. L'impact de la diversité et des types de variétés et races utilisées par l'homme, ainsi que des systèmes de production associés, sur la biodiversité dans les espaces anthropisés est ici à mieux évaluer.

• **Questionnement 2 : Quels mécanismes lient biodiversité et fonctionnement des écosystèmes ?**

Cette question reste d'actualité dans ce qu'elle a de plus fondamental, avant même de pouvoir considérer ses aspects dynamiques en relation avec des changements tels qu'extinctions, migrations, etc. Les travaux réalisés depuis les années 90 n'ont permis de progresser que sur les aspects les plus basiques de la question, en utilisant des approches expérimentales sur des systèmes souvent très simplifiés et donc peu réalistes, et en ne couvrant que quelques uns des organismes

et des fonctions essentiels au maintien des écosystèmes et des services écologiques. Les 5 thématiques de recherche prioritaires concernent ici :

- Les effets sur le fonctionnement des écosystèmes des composantes de la biodiversité jusqu'ici peu étudiées, et les fonctions auxquelles elles sont associées, telles que la biodiversité des organismes du sol et des sédiments, la structure démographique des communautés, en particulier dans les écosystèmes aquatiques et marins, la structure fonctionnelle et la diversité intra-spécifique (y compris au sein des espèces domestiques). Une question ouverte ici est notamment **d'évaluer en quoi prédire les dynamiques de traits fonctionnels plutôt que d'espèces serait pertinent dans une perspective de fonctionnement et services écosystémiques.**
- **Les effets de la biodiversité sur la stabilité, la résilience et l'évolutivité des écosystèmes.** Ceci implique de considérer la stabilité de la biodiversité elle-même (des communautés plus diverses sont-elles plus ou moins stables, selon quelles conditions et quels mécanismes?), celle du fonctionnement (des communautés plus diverses conduisent-elles à un fonctionnement plus ou moins stable, selon quelles conditions et quels mécanismes?), et les interrelations entre stabilité des populations et des communautés et stabilité du fonctionnement des écosystèmes.
- **Les interactions des relations biodiversité - fonctionnement des écosystèmes avec les variables de forçage telles que fertilité, climat, perturbations** (notamment forçage par la gestion des écosystèmes). Par exemple, les relations biodiversité – fonctionnement perdent-elles beaucoup de leur importance quantitative dans des systèmes très fertilisés ?
- **Le rôle des interactions biotiques, de la dynamique des populations et des communautés, et de l'évolution dans les relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes ;** en particulier sont à étudier les mécanismes impliquant la complexité trophique et les relations fonctionnelles entre niveaux trophiques, les situations hors équilibre telles que l'assemblage ou l'écroulement des communautés, y compris en relation avec les invasions par des espèces exotiques, et les changements de structure génétique.
- **Les mécanismes écologiques contraignant la multi-fonctionnalité des écosystèmes.** Il s'agit ici d'analyser les bases mécanistes des synergies et compromis entre plusieurs fonctions ou plusieurs services (par ex. production primaire, rétention de l'azote, séquestration du carbone).
- **Questionnement 3 : Comment mieux prendre en compte les processus de dynamique spatiale de la biodiversité et leur influence sur les services écologiques ?**

La compréhension des processus spatiaux manque cruellement pour évaluer les impacts d'aménagements tels que les trames vertes / trames bleues; ou pour prévoir la dynamique de migration des espèces en réponse aux changements climatiques et la recomposition des communautés après une pollution. Ces processus restent encore très mal appréhendés en écologie. Les 3 thématiques de recherche prioritaires dans ce domaine sont les suivantes :

- **L'influence des dynamiques spatiales sur la dynamique de la biodiversité,**

notamment au travers de la dispersion à longue distance des individus, de leurs propagules et de leurs gènes, et de leurs interactions avec la structure spatiale des paysages.

- **L'influence des dynamiques spatiales sur les services écologiques**, soit directement (e.g. flux d'énergie et de matière), soit indirectement au travers de leurs effets sur la biodiversité.
- La prise en compte de ces dynamiques spatiales par les sociétés, et le rôle qu'elles peuvent y jouer par leurs interventions, reste également une question brûlante : les changements d'usage et d'accès se traduisent fréquemment par des compétitions entre acteurs, des conflits fonciers, mais aussi de nouvelles stratégies territoriales (ex : front pionnier, migration, sédentarisation) favorisant une modification des règles d'accès aux ressources. Il s'agit de **mettre en évidence ces reconfigurations spatiales, de comprendre les dynamiques territoriales et leurs effets sur la dynamique de la biodiversité.**

- **Questionnement 4 : Approfondir la notion de système couplé homme-écosystème**

La notion de services écologiques est importante pour articuler les deux composantes société et écosystème du système couplé homme-environnement afin d'en comprendre la dynamique. Les écosystèmes ont des fonctions (par exemple : régulation climatique, épuration des eaux); ces fonctions donnent lieu ou non à des services écologiques existants ou potentiels, marchands ou non marchands, dont l'existence dépend étroitement du système de valeurs d'une société plus que de ses besoins immanents. Cinq thématiques de recherche spécifiques sont proposées comme prioritaires :

- a. **Compromis et synergies entre services** : ceux-ci seront analysés du point de vue écologique et du point de vue humain. Les aspects de dynamiques écologiques sont liés aux questions de multi-fonctionnalité traitées en 2(e). L'analyse des phénomènes de concurrence des usages de la biodiversité ou de ses services, qui peuvent déboucher sur des conflits d'usages si la concurrence n'est pas régulée, appelle des approches s'intéressant aux comportements et aux stratégies d'acteurs autour de ces usages. En particulier, il s'agit de **comprendre les stratégies d'adaptation et d'innovation adoptées**. Ici l'analyse des crises est importante, en mettant l'accent sur la caractérisation des pas de temps, des échelles spatiales, et sur la perception des crises (notions telles que « dégradation », érosion, surexploitation, etc.). De même, l'analyse de la création de valeur sur une nouvelle biodiversité ou autour de l'identification de nouveaux services (voir chapitre « Valeurs ») est une approche porteuse. La sociologie des représentations, l'ethnobiologie et l'anthropologie de la nature sont ici des disciplines clés.
- b. **Valeurs de la biodiversité et des services** : Aujourd'hui, l'approche fonctionnelle et la mise en avant du concept de service écosystémique contribuent à modifier les termes dans lesquels se pose la question de la valeur de la biodiversité (voir le chapitre « Valeurs »). Il s'agit moins pour la recherche de répondre à la question de la valeur de la biodiversité en tant que

telle qu'à celle de ses éléments constitutifs, autrement dit des substrats matériels qui en sont les « supports » et dont la préservation est nécessaire pour assurer le maintien de la biodiversité, ainsi que des fonctions et services qu'elle remplit. Les besoins de recherche concernent **l'identification de ces éléments constitutifs au regard des fonctions et services que l'on veut préserver, mais également l'estimation des valeurs, absolues et relatives que l'on entend leur attribuer**. La recherche devra également s'interroger sur les **limites de l'approche par fonctions et services de la biodiversité** : permet-elle de rendre compte de l'ensemble des valeurs de la biodiversité ? Comment reconnaître et estimer les services que l'on ignore encore ? Existe-t-il des éléments constitutifs de la biodiversité « inutiles » ? L'interdisciplinarité entre les sciences sociales (philosophie, droit, anthropologie, sociologie, économie, etc.) et les sciences du vivant est ici particulièrement nécessaire. La question des **méthodologies pour l'attribution des valeurs** est également une question centrale (voir le chapitre « Valeurs », et notamment les questions « quels outils de mesure pour quelles valeurs ? » et « Comment évaluer sans « marchandiser ? » »).

- c. **Rôle de la biodiversité et des services écologiques dans les décisions de gestion et d'usage des acteurs**, par rapport à d'autres contraintes (politiques, économiques, sociales, techniques, organisation du travail...) ? L'analyse de ces rôles doit être déclinée selon différents types d'usages et de systèmes d'usages dans des contextes diversifiés. Il s'agit de comprendre la façon dont les sociétés répondent (pas seulement au sens de réponse mécanique, mais davantage de mise en œuvre de stratégies d'adaptation et de jeux des acteurs) à la dynamique de la biodiversité ; et, en retour, de comprendre comment les sociétés modifient cette dynamique. La capacité d'anticipation des acteurs aux changements (disparition, érosion ou émergence de ressources) ou encore les stratégies de gestion des risques (par exemple : diversité des variétés d'une espèce végétale cultivée permettant de jouer sur la variabilité climatique ou l'incertitude; ou combinaison de ressources, espaces, techniques, pratiques permettant l'adaptation aux changements) apparaissent comme des éléments clés de compréhension des dynamiques. Il s'agit également d'appréhender les complémentarités et conflits d'intérêts entre acteurs (du local à l'international) et entre projets de territoire.
- d. Gouvernance de la biodiversité : sous cette thématique plusieurs axes de recherche peuvent être explorés :
- Les **effets des politiques publiques et des initiatives privées sur la biodiversité et sur les services écosystémiques** qui en découlent forment un premier axe. En particulier les questions soulevées par les différents niveaux de gouvernance, du niveau local au niveau global (rôle des conventions et des traité internationaux), permettent d'aborder la question de la pertinence de cette gouvernance, de la mise en place d'instruments innovants tels que la création d'espaces protégés, de l'instauration de nouveaux modes de régulation, de la création de nouveaux outils de gestion (y compris ceux qui concernent les marchés) ... A cet égard, le rôle des ONG, des médiateurs non gouvernementaux, et des professionnels mérite d'être analysé plus en profondeur.
 - **L'analyse de l'apparition de nouveaux marchés**, qu'il s'agisse des

marchés relatifs à l'exploitation des ressources immatérielles de la biodiversité ou des marchés des produits issus de cette exploitation, constitue un deuxième axe. Celui-ci concerne les acteurs (Etats, ONG, entreprises, mais aussi les groupes moins organisés comme les populations autochtones ou des groupes locaux) et les modalités de la régulation de ces marchés (institutions, principes, normes, outils). Quelques unes des questions posées concernent les nouveaux usages de la biodiversité, les conséquences de la privatisation des espaces et /ou des ressources... On songe par exemple à la cession de terres dans les PMA à de grands entrepreneurs, publics ou privés, pour la production de biocarburants ou pour effectuer d'autres plantations (« green colonialism »).

- **L'évaluation des politiques mises en œuvre en matière de gouvernance de la biodiversité** est un troisième axe. Cela recouvre l'analyse de leur efficience et de leur efficacité au regard des objectifs en termes de conservation et d'utilisation durable de la biodiversité, des retombées économiques existantes ou potentielles, notamment à l'échelle locale et de l'acceptabilité sociale et culturelle des incitations.
 - Une attention spécifique pourrait être portée sur l'émergence de nouvelles politiques de marchés et de leurs conséquences sur la biodiversité. Cela concerne les **effets sur la biodiversité de l'instauration de nouveaux outils commerciaux** : effets des écolabels, effets des politiques de commerce équitable, de commerce responsable, de «clean» labels et plus largement des stratégies de marketing sur la biodiversité. A l'inverse, l'apparition de nouveaux produits issus de l'exploitation de la biodiversité permet de satisfaire autrement certains besoins ou d'en faire apparaître de nouveaux.
 - La **question de la non symétrie entre les effets de la conservation de la biodiversité et ceux de sa reconstitution** constitue un enjeu de recherche important, tant du point de vue théorique que de celui de l'application. Les exemples de l'exploitation puis 'restauration' des carrières ou de la recomposition des écosystèmes marins ou terrestres après l'impact d'une pollution sont des cas emblématiques illustrant ce type de questionnement.
 - Certaines de ces questions peuvent être efficacement appréhendées à partir d'**expérimentations en grandeurs nature permettant de comprendre les mécanismes de recomposition des écosystèmes ou d'innovation autour des services fournis par la biodiversité**. A cet égard, les opérations de compensation (tels que mises en œuvre dans le cas du réseau Natura 2000 en ce qui concerne l'UE) et les mesures résultant de l'application des régimes de responsabilité environnementales (dans le cadre de la transposition de la directive 2004/35 sur la responsabilité environnementale pour l'UE) peuvent fournir des terrains d'expérimentation.
- e. **Vulnérabilité à la variabilité sociale et environnementale et aux changements globaux.** La vulnérabilité d'un socio-écosystème est le produit de l'interaction entre: (i) les réponses de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes ainsi que des systèmes humains aux forçages

environnementaux et sociétaux; et (ii) les réponses des acteurs aux changements de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes. Les besoins de recherche concernent l'identification des sources de vulnérabilité ou de robustesse au sein du fonctionnement des écosystèmes, et en termes de relations entre société et écosystèmes. L'analyse des mécanismes de résilience doit en particulier concerner (i) les relations entre biodiversité et résilience de la biodiversité elle-même et du fonctionnement des écosystèmes (voir 2(b)), et (ii) la résilience des systèmes sociaux, en relation avec leurs propres fonctionnements, et comme résultat de leurs interactions avec la biodiversité.

- **Questionnement 5 : Comment faire progresser les bases scientifiques de l'ingénierie des écosystèmes et des services écologiques ?**

Deux thématiques de recherche sont identifiées ici comme prioritaires :

(a) **L'étude des systèmes émergents** : Les changements environnementaux et sociaux peuvent faire apparaître des écosystèmes de composition entièrement nouvelle (cf. situations non analogues en paléoécologie), ainsi que des nouvelles formes d'usages de la biodiversité. L'analyse de ces processus de recomposition et de ré-organisation est un champ nouveau, de valeur à la fois heuristique et source de valorisation. Ainsi, les écosystèmes dits émergents (par ex. dans le cas d'invasions par des espèces exotiques : prairies de *Caulerpa* ou vallons envahis par les *Buddleia*) sont des outils privilégiés pour caractériser les processus d'assemblage des communautés (cf. questionnement 1) et les relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes (cf. questionnement 2). Du point de vue de la valorisation, leur compréhension devrait aider à la création d'assemblages d'espèces *ad hoc* pour réaliser des fonctions souhaitées, par exemple dans le domaine microbien avec l'exploitation de cet énorme réservoir d'organismes et de fonctions.

La notion de système émergent s'applique aussi pour les sociétés humaines, avec la recomposition sociale, le ré-agencement spatial, ou la recombinaison des systèmes d'usages, ainsi que les innovations (à tous les niveaux : techniques, économiques, institutionnels) en réponse à un changement, voire à une crise. Ces réponses peuvent émerger aussi bien face à une contrainte, écologique, juridique ou économique, qu'à de nouvelles opportunités (cf. notion de stratégies « défensive » versus « offensive » d'innovation). Les questions de recherche portent ici sur les processus de construction des valeurs, avec la « création de services » qui n'étaient pas reconnus précédemment (relations avec 4(b)) – qu'on pourra appeler "services émergents". L'analyse du rôle des politiques publiques et des contraintes institutionnelles et juridiques semble ici particulièrement importante.

(b) **L'analyse du concept d'équivalence écologique** : L'évolution des politiques européennes et nationales demande de comprendre dans quelle mesure l'équivalence écologique peut être réalisée pour des actions de restauration, voire de compensation écologique. Les défis concernent ici la définition et la mesure de l'équivalence écologique, en identifiant les critères à évaluer (groupes de variables clé), les indicateurs adéquats, et en

développant des systèmes d'évaluation (y compris des outils opérationnels). Ces critères devront concerner non seulement les dimensions écologiques, évaluant la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes, mais aussi les dimensions socio-économiques, culturelles, juridiques, institutionnelles entourant la valeur réalisée d'un écosystème particulier. Les obligations de compensation ex-ante (compensation type réseau Natura 2000 ou « mesures compensatoires » accompagnant un projet portant atteinte à la biodiversité « ordinaire » hors zones protégées) ou ex-post (remise en état de sites après exploitation, obligation de réparation dans le cadre d'une action en responsabilité) pourraient constituer des terrains d'expérimentation pertinents, tant du point de vue écologique que social, politique et juridique.

B - SITUATION ACTUELLE: FRANCE, EUROPE, MONDE

La situation actuelle de la recherche pour chacun de ces questionnements fait apparaître différentes forces et faiblesses.

1) Dynamique de la biodiversité

Sur cette question, la communauté nationale est importante et les recherches sont d'une qualité reconnue au plan européen et international. On peut cependant identifier un certain nombre de faiblesses :

- Il existe **peu d'approches intégratives et pluridisciplinaires** qui permettent de renforcer des approches fonctionnelles de la biodiversité, de quantifier le poids relatif des interactions, de mieux comprendre les mécanismes d'assemblage / désassemblage / ré-assemblage des communautés ainsi que leurs conséquences fonctionnelles.
- Il existe **trop peu de liens entre les équipes travaillant sur le milieu terrestre et celles travaillant sur les milieux aquatiques et marins**; celles travaillant sur la biodiversité rurale et urbaine, ou encore celles travaillant sur la biodiversité ordinaire, utile, et remarquable.
- **Les travaux expérimentaux sur la dynamique des écosystèmes restent trop souvent déconnectés des besoins pour élaborer des modèles prédictifs** des changements de biodiversité.
- Malgré une force reconnue en écologie et en biologie évolutive, **la communauté scientifique française est particulièrement sous-représentée dans les sciences de la conservation**, alors que la France abrite un niveau de biodiversité parmi les plus importants.
- Cette communauté n'est pas assez structurée en vue d'aborder les questions de dynamique de la biodiversité de façon intégrative. En particulier, il est important d'encourager des structures visant à **renforcer les passerelles entre l'écologie évolutive et l'écologie des communautés, entre la biologie intégrative et l'écologie, ou permettant des approches pluridisciplinaires.**

2) Relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes

Pour répondre aux questions identifiées ci-dessus visant à comprendre les relations entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes, le principal obstacle est le **manque de structuration** déjà évoqué. La trop grande séparation entre les équipes travaillant sur l'écologie des communautés, celles traitant des formes et des mécanismes de l'évolution, celles se consacrant aux approches en terme d'écologie fonctionnelle, celles qui explorent l'écologie des paysages, etc, ne favorise pas les interactions réciproques entre ces équipes et les approches interdisciplinaires.

Le recul récent constaté en France des recherches en écophysiologie animale comme végétale se répercute sur la capacité à comprendre les dynamiques des espèces (et leurs interactions) et le fonctionnement des écosystèmes. Cela constituera, à terme, un frein pour la compréhension de la dynamique de la biodiversité et de ses conséquences pour le fonctionnement des écosystèmes.

L'analyse des effets sur le fonctionnement des écosystèmes de différentes composantes de la biodiversité, de l'influence de la stabilité des populations sur celle des écosystèmes, des interactions de la biodiversité avec les variables de forçage, de la dynamique des populations et des niveaux trophiques... nécessite de développer des approches à partir de **l'analyse de systèmes complexes**. Ceci reste une lacune au niveau international, malgré les injonctions de différents programmes internationaux. En matière de biodiversité marine, des recherches s'appuyant sur les niveaux trophiques se sont développées en Amérique du Nord, en particulier au Canada (Vancouver) et en Australie, et commencent à émerger en France. Il s'agit là d'une force émergente à bien identifier et utiliser.

3) *Processus de dynamique spatiale de la biodiversité et des services*

Les processus associés à la dynamique spatiale de la biodiversité et des services ne sont pas assez étudiés en France, notamment par rapport aux autres pays du nord-ouest de l'Europe. Cela semble notamment dû à la faiblesse du nombre d'étudiants formés à ces questions, le vivier de chercheurs est donc trop petit. Les liens naturels qui devraient s'établir entre géographes et écologues n'existent pas de façon pérenne et avec une intensité suffisante. Par ailleurs les compétences en analyse spatiale manquent dans les laboratoires d'écologie.

L'analyse des concurrences d'usage et des conflits est abordée dans sa composante spatiale par les géographes, dans ses composantes économiques et sociales par les économistes et par les sociologues, et dans sa composante juridique par les juristes. Cependant, cette analyse ne fait pas suffisamment l'objet d'approches pluridisciplinaires.

4) *Notion de système couplé homme-écosystème*

Cette thématique n'est pas vraiment nouvelle en France : elle était au cœur de plusieurs actions et programmes de recherche depuis une vingtaine d'années, tels que : le Programme Systèmes intégrés du CNRS (PIREV), l'Action Incitative DURR (Dynamique et Usages des Ressources Renouvelables) de l'IRD, le Groupe de l'IFB « Usages, accès et dynamique de la biodiversité », des projets soutenus par le BRG sur la conservation *in situ* participative (dite conservation « à la ferme »), ou encore les programmes « Recréer la nature » et « la nature dans la ville ». Il existe donc, en

France une richesse des travaux réalisés sur cet axe. Les compétences sont diverses. Il existe de nombreux travaux sur une multiplicité de terrains et de zones ateliers ou observatoires, en France comme dans les zones tropicales du fait de l'histoire de la France avec, dans ce cas, l'existence de réseaux de partenaires solides et anciens.

Durant les années 1990, cette situation constituait une des forces françaises et a permis des avancées des recherches interdisciplinaires. Cependant la capitalisation des résultats de ces recherches n'est pas suffisante. Cette communauté manque de visibilité et **les questions de biodiversité ne sont pas forcément une entrée privilégiée** (il existe davantage de travaux sur l'environnement). Par ailleurs, le manque d'accord sur ce que recouvre la notion de biodiversité et sur la place de la diversité culturelle constitue un frein au développement des coopérations entre équipes.

On constate un recul dans les années 2000, contrairement à la progression observée au niveau européen (depuis le 5^{ème} PCRD) comme au niveau mondial (voir par exemple le Millennium Ecosystem Assessment, les programmes stratégiques de Diversitas et de différents projets de l'IGBP tels que le Global Land Project, LOICZ...). La cause s'en trouve dans l'évolution des structures de recherche et dans les modes de recrutement et d'évaluation des enseignants chercheurs et des chercheurs : repli des UR et UMR sur des approches plus disciplinaires (au nom de l'excellence scientifique), manque de reconnaissance institutionnelle et scientifique des travaux à l'interface de diverses disciplines (ou à la « marge »), pas ou peu de prise en compte de la prise de risque liée au travail aux frontières des disciplines. Force est aussi de constater que depuis quelques années les réseaux de recherche dans les zones intertropicales ont tendance à s'affaiblir.

La communauté scientifique traitant de l'analyse des services fournis par les écosystèmes est embryonnaire en France, contrairement à ce que l'on observe chez nos voisins d'Europe du nord-ouest et aux pays anglo-saxons ou même sud-américains. Par conséquent ce champ de recherche manque d'expérience et de profondeur historique. Il convient de l'encourager et de favoriser les recherches théoriques sur les questions des services écosystémiques et les recherches appliquées au travers des études de cas, en favorisant leur développement à partir de zones ateliers. L'insertion dans les réseaux internationaux sur ce sujet est très faible, et demande donc à être encouragée et soutenue.

Dans le même esprit, dans le domaine maritime, si le couplage entre les modèles économiques et les modèles biologiques est une réalité et si les équipes nationales en ont maintenant une bonne expertise, le couplage avec les modèles environnementaux constitue une question d'actualité et doit être encouragé.

De manière générale, le manque d'effectifs en sciences humaines et sociales est un constat récurrent. Outre les faiblesses déjà décrites, cela se traduit par un faible potentiel de capitalisation des acquis et d'innovation qui permettrait de mieux comprendre les évolutions de la biodiversité par l'analyse approfondie du rôle des facteurs anthropiques.

D'un point de vue transversal à l'ensemble de questions abordées on constate, en France, un manque d'analyse rétrospective des recherches sur les thèmes qui continuent d'apparaître au cours des années (ce qui permettrait d'éviter de trop se focaliser sur des questions « nouvelles »). Il n'existe pas assez

d'identification des progrès qui donnent lieu à de nouvelles questions, ou d'analyses des points de blocage et de leurs causes.

Problème général particulièrement saillant, les connaissances ayant trait aux **transferts d'échelles** et de pas de temps, mais surtout aux interconnexions entre échelles et niveaux d'organisation, ne connaissent que peu d'avancées décisives du point de vue conceptuel depuis plusieurs années, alors qu'il s'agit d'un point de blocage important. Chaque spécialiste a tendance à privilégier son échelle d'observation (l'agronome privilégie la parcelle ou l'exploitation, l'écologue l'écosystème ...) sans que les interconnexions d'échelles soient privilégiées. Les géographes, bons « passeurs de frontières » entre disciplines, savent bien qu'il n'y a pas une échelle d'observation pertinente mais plusieurs selon la question posée. Ce type de réflexions est mené par exemple au sein d'initiatives européennes telles que le réseau ANAEE (Analysis and experimentation on Ecosystems, FP7) visant à développer des infrastructures de recherche intégrées sur les écosystèmes naturels et agroécosystèmes et dans lequel la France est bien présente.

C - VEROUS ET OPPORTUNITES

Les problèmes déjà soulevés de l'évaluation des travaux pluridisciplinaires constituent l'un des plus importants verrous au développement d'analyses des interrelations Homme- Nature, de l'élaboration de scénarios pertinents, d'approches en termes de systèmes complexes, de progrès en matière de couplages de modèles de différentes natures (bio – économie - environnement). Cela constitue vraisemblablement aussi un point de blocage pour la progression de la réflexion sur l'articulation des échelles temporelles et spatiales. Plus généralement cela étouffe les velléités de liaison entre disciplines ou d'approfondissement des questions de la multifonctionnalité de la biodiversité et des services qui en découlent.

La principale opportunité dans ce contexte se trouve actuellement dans l'importante mobilisation autour des différents Grenelle : Grenelle de l'environnement, Grenelle de la mer. La constitution de la FRB constitue un élément important de pérennisation de cette démarche. La période est ainsi particulièrement favorable à la mise en œuvre de procédures nouvelles et à la création de moyens innovants.

Il existe des compétences importantes mais dispersées en Sciences Humaines et Sociales à mobiliser sur des thèmes attractifs. Il existe aussi des compétences fortes et importantes parmi les chercheurs des sciences agronomiques et parmi ceux qui travaillent sur les aspects marins. Dans ces deux cas il existe, en plus, une pratique traditionnellement forte d'approches pluridisciplinaires.

On constate aussi une tradition assez forte en matière d'analyse des paysages (géographes, écologues) et d'aménagement du territoire, en particulier pour analyser les conflits d'usage. La thématique des conflits d'usage est aussi bien prise en compte par les économistes que par les sociologues.

La mobilisation sur des thématiques nouvelles telles que l'ingénierie écologique, l'évaluation environnementale ou encore la compensation écologique,

ouvre des pistes importantes car porteuses tant au niveau heuristique / fondamental qu'en termes de réponses à la demande sociale.

D - OUTILS ET ACTIONS CLES

Les directions à privilégier pour progresser, lever les verrous et tirer partie des opportunités peuvent être déclinées selon quatre actions prioritaires.

Action 1 - Analyse des dynamiques couplées de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes (naturels, gérés et cultivés)

Des **approches empiriques d'observation et d'expérimentation** devront inclure prioritairement les éléments suivants :

- Manipulations du climat (moyennes et extrêmes) et des usages de manière couplée, selon des scénarios réalistes ou extrêmes (effets surprises) pour mettre en évidence les mécanismes de réponses: adaptation, réponse écophysiological, interactions biotiques, diversité fonctionnelle, biogéochimie....
- Manipulations de la gestion (par ex. niveaux de fertilité, de perturbation, de récolte, rotations culturales...) croisées avec celles de la biodiversité.
- Simulation expérimentale de la dynamique des écosystèmes : processus de succession, d'invasion, d'extinction, de changement de diversité des ressources génétiques mises en oeuvre.
- Manipulations expérimentales avec des conditions réalistes en termes de niveaux de diversité, composition des communautés (structures d'abondance, structures démographiques), séquences d'arrivée des espèces...
- Couplage d'observations et d'expérimentations sur le long terme avec la prise en compte de différentes échelles (parcelle, paysage, région – y compris par utilisation de la télédétection).
- Couplage entre expérimentations *in situ* (du microcosme au paysage) et *in silico* (modélisation selon les différentes dimensions ci-dessus).

En termes de **systèmes modèles** seront favorisés :

- L'emboîtement d'approches allant du contrôle maximum (micro/mésocosmes) à des situations multi-factorielles sur le terrain, la manipulation des facteurs « de gestion », la recherche de configurations proches des conditions « réelles » en termes de patrons et de dynamique.
- Des expérimentations sur la résilience, donc sur le long-terme en nombre de générations, en s'appuyant sur des écosystèmes simplifiés initialement. Les microorganismes peuvent offrir ici des modèles de choix.
- Les analyses sur des écosystèmes gérés (agriculture, foresterie, écosystèmes aquatiques, écosystèmes urbains...) et les réseaux de gestion des ressources génétiques sauvages et cultivées/et apparentées, y compris à travers des approches dynamiques.
- L'analyse de la dynamique et du fonctionnement des milieux d'interface (e.g. milieux lagunaires, côtiers, corridors forestiers, bords de champs...) ou de

zones géographiques « intégratrices » telles que les bassins versants ou les réseaux d'aires protégées (telles les Réserves de Biosphère).

L'analyse des **systèmes nouveaux** est à promouvoir, du point de vue scientifique pour avancer la compréhension de leur composition, leur fonctionnement et leur potentiel d'innovation. Cela concerne entre autres :

- L'identification de la biodiversité inconnue, en particulier au sein des groupes microbiens au travers des approches de métagénomique, les écosystèmes abyssaux, les milieux extrêmes etc. (voir les chapitres "Documenter" et "Intégrer")
- Les systèmes émergents.
- Les écosystèmes construits par l'homme, par exemple pour la bioremédiation, l'ingénierie écologique, etc.

Action 2 - Evaluer l'importance des processus évolutifs dans les réponses de la biodiversité aux changements globaux

Selon une des nombreuses définitions disponibles, la biodiversité n'est rien d'autre que le résultat de l'évolution du vivant en réponse à des millions d'années d'exposition à ses différents milieux de vie. Qu'il s'agisse de changements progressifs, sur de grandes échelles de temps, ou d'adaptation rapide à des modifications plus brutales, les processus évolutifs génèrent la biodiversité. Les éléments constitutifs de la biodiversité : génotypes, populations, espèces, communautés, peuvent répondre aux pressions de sélection associées aux changements globaux comme les ancêtres ou précurseurs de ces éléments l'ont fait en face des grandes crises du passé ou des alternances climatiques du Quaternaire par exemple. On distinguera les réponses directes (déplacement, plasticité phénotypique, physiologique ou comportementale) et les réponses impliquant un changement au fil des générations en réponse aux nouvelles pressions de sélection (adaptation génétique). Il existe toutefois une différence majeure entre les crises du passé et celle que connaît la terre actuellement : la rapidité du phénomène et consécutivement son intensité. On ne peut donc se contenter de regarder le passé et d'essayer d'en tirer des leçons ; **il faut adapter la recherche à la nécessité d'explicitier les processus d'adaptation rapide.**

Le déplacement de l'aire de distribution des espèces est souvent considéré comme la réponse la plus probable des organismes au changement climatique. Ces déplacements sont directs pour les organismes capables de se déplacer, ou s'observent au fil des générations pour les organismes sessiles qui se déplacent via leurs descendants. Les capacités de persistance dans l'habitat, et le déplacement, constituent des acclimatations comportementales à l'augmentation de la fréquence des conditions extrêmes. Pour les capacités de persistance au sein de l'habitat, des études de microclimat permettent de mieux identifier les refuges locaux vis-à-vis des conditions extrêmes.

De nombreux exemples montrent que **les réponses impliquant un changement génétique peuvent être rapides.** Le seul moyen de prédire les changements génétiques est de les modéliser en utilisant les paramètres génétiques des caractères sous sélection (héritabilités, corrélations génétiques...) obtenus le plus souvent par approches expérimentales. Cependant, les modèles de réponse ont un pouvoir prédictif limité car les changements globaux agissent de manière

multifactorielle, plus complexe dans la nature qu'au laboratoire. Parallèlement, il faut tenir compte du fait que les caractères potentiellement adaptatifs sont généralement des caractères complexes. La variation phénotypique résulte donc pour une large part d'interactions entre allèles à des locus multiples, qui sont sensibles à l'environnement.

Dans ce contexte, l'utilisation d'**approches intégratives de l'adaptation combinant génomique des populations, transcriptomique, protéomique et génétique quantitative** constitue une voie extrêmement prometteuse pour :

- (1) identifier les gènes impliqués dans les processus d'adaptation, en comparant des populations soumises à des conditions environnementales différentes constituant potentiellement des régimes sélectifs différents,
- (2) déterminer si la réponse de populations ou d'espèces différentes aux mêmes pressions de sélection impliquent ou non les mêmes gènes,
- (3) estimer le rôle des mutations et des flux géniques dans l'adaptation,
- (4) déterminer comment les pressions de sélection modifient l'architecture génétique des caractères adaptatifs, et
- (5) estimer l'incidence des facteurs démographiques et stochastiques (dérive génétique) sur la capacité des organismes à s'adapter à de nouveaux environnements.

Ces approches progressent rapidement et les avancées technologiques récentes (notamment séquençage haut débit) ouvrent la voie à l'étude d'organismes non « modèles ». Les études de génomique environnementale doivent être complétées par des approches de sélections expérimentales en vue d'estimer la capacité d'adaptation des populations en fonction de leur polymorphisme à des gènes clés. Les liens entre polymorphisme et régulation de l'expression de gènes impliqués dans des caractères adaptatifs restent encore peu explorés. Une meilleure compréhension de l'architecture génétique des caractères impliqués dans les réponses adaptatives peut donc permettre de mieux comprendre les contraintes à leur évolution adaptative (bases génétiques de la plasticité, effets pléiotropiques et coût métabolique).

L'étude des processus d'adaptation peut désormais bénéficier d'un couplage entre les avancées méthodologiques et technologiques de la génomique et l'analyse des effets de l'hétérogénéité de l'environnement via les concepts et outils de l'écologie du paysage.

En permettant la prise en compte des activités humaines et en explicitant l'hétérogénéité spatio-temporelle de l'environnement à des échelles diverses, l'approche paysage présente un intérêt double. Elle fournit un cadre méthodologique et conceptuel pertinent pour l'appréhension de patrons d'organisation de la biodiversité et des processus sous-jacents. On reconnaît notamment que les capacités de dispersion des espèces dans des environnements hétérogènes déterminent leur distribution, leur persistance à un niveau régional et leur microévolution. En outre, en intégrant les activités humaines comme une composante majeure de la dynamique des paysages, l'écologie du paysage est intégrative en ce qu'elle permet l'appréhension de processus écologiques se déroulant dans des environnements anthropisés. Comprendre les effets de la structure du paysage sur la « connectivité génétique », permet d'appréhender des processus fondamentaux en biologie des populations/ métapopulations. **La génétique du paysage (*landscape genetics*), issue de la rencontre de l'écologie du paysage et de la biologie des populations (génétique des populations), permet d'étudier les interactions entre l'organisation du paysage (et son**

évolution) et les processus microévolutifs que cette organisation est susceptible de conditionner : flux de gènes, dérive génétique, sélection, etc. L'objectif est donc de combiner les méthodes de la génétique des populations avec l'analyse de la composition et de la configuration du paysage. Il reste encore à adapter ces approches au milieu marin où les composantes du paysage sont souvent plus difficiles à appréhender.

Ainsi, **en combinant les développements récents de la génomique, de l'écologie et de la génétique du paysage, il devient possible d'analyser des processus adaptatifs rapides s'opérant sur des pas de temps courts et des échelles spatiales fines.** L'hétérogénéité et la dynamique des paysages ruraux ou urbains, pour partie gouvernée par les activités humaines, contraignent les flux de gènes opérant entre populations et modulent les contacts entre habitats sauvages, exploités ou cultivés notamment ; ils définissent ainsi un cadre transversal à l'étude de l'évolution des populations.

Les avancées attendues de la connaissance des mécanismes adaptatifs, et plus généralement l'ensemble des concepts et outils de la biologie évolutive, doivent être mobilisés pour **mieux comprendre les interactions biologiques durables qui sont à l'origine du fonctionnement et de la plus ou moins grande stabilité des communautés et des écosystèmes.** Cette connaissance doit permettre de mieux estimer la capacité de résilience de ces systèmes face aux changements globaux. Il conviendra de s'intéresser plus particulièrement ici aux symbioses, au sens le plus large du terme (du mutualisme au parasitisme), qu'elles soient ou non issues de processus de coévolution.

De façon transverse aux actions 1 et 2, il importe de prendre pleinement en compte le rôle de la communication chimique dans les communautés, tant en terme fonctionnel qu'évolutif. Ceci passe par un soutien de l'écologie chimique (encart 8).

Action 3 - Couplage observation – expérimentation sur des systèmes modèles pour l'analyse des couplages homme – milieu - biodiversité

La création et le soutien de réseaux de recherche puissants autour de **sites d'observation à long terme des systèmes homme-environnement** (cf LTSER), couplés à des approches expérimentales et de modélisation sur ces mêmes systèmes, sont une priorité forte. Seraient à encourager en particulier des Zones Ateliers placées stratégiquement par exemple en Guyane ou dans la zone de l'Océan Indien (DOM TOM), en renforcement du réseau en métropole, ainsi que le développement de sites d'étude de la biodiversité urbaine. Le renforcement du réseau d'observatoires avec des approches expérimentales (y compris sur les systèmes humains) complétant les observations sur les situations de référence, et avec un cahier des charges formalisé pour les observations, serait un outil essentiel à une stratégie ambitieuse pour des recherches interdisciplinaires. Encourager de telles études dans une démarche comparative entre sites, appuyée par des cadres conceptuels et méthodologiques bien établis, permettra de comprendre les mécanismes dans une diversité de contextes.

La mise en place à l'échelle nationale d'une structure pérenne de coordinations des observatoires de la biodiversité et des stations expérimentales (projet d'Ecoscope national, axe "Documenter") devrait **ouvrir la voie à une**

véritable stratégie nationale inter-institutionnelle en matière d'observation et d'expérimentation. Cette structure devra s'intégrer aux structures en projet à l'échelle européenne ou internationale.

Des études phénoménologiques et réflexions méthodologiques seront indispensables pour mieux appréhender la nature réelle et complexe des interactions entre les sociétés et leurs environnements et expliciter les notions d'évolution, d'adaptation, d'adaptabilité, en termes biologiques et culturels, croisant diverses perspectives (matérialistes / néo-évolutionnistes / culturalistes, fonctionnalistes / structuralistes, processuelles / contextuelles,...).

L'insertion des équipes françaises dans les réseaux internationaux autour de l'analyse des **services écosystémiques** demande à être encouragée et soutenue.

L'analyse des interactions homme-écosystème autour des **systèmes nouveaux** tels que les systèmes émergents (par ex. suite aux invasions ou à la recomposition en réponse au climat ou aux pollutions), ou les questions d'ingénierie écologique ou d'équivalence écologique doit être une piste à promouvoir.

Articulation entre échelles et niveaux d'organisation: Un objet scientifique comme la biodiversité, pour être appréhendé dans sa globalité, nécessite que soient pris en compte divers agents, variables et échelles (du local à l'international, de l'arbre au terroir et au territoire, du pâturage au système d'élevage par ex.). Il reste des réflexions à conduire pour non seulement changer mais aussi articuler les échelles et poursuivre les efforts de conceptualisation de ces articulations entre niveaux.

Parmi les **outils** à mobiliser et dont le développement est à encourager sur des terrains diversifiés on peut donc citer :

- Les outils de l'analyse spatiale et de la géomatique (S.I.G.), de plus en plus performants, qu'il s'agisse d'identifier les niveaux et les échelles, les analyser (ex : analyse multi-niveaux), les emboîter (ex des niveaux d'organisation des paysages : depuis les composants paysagers ou pixels, aux types paysagers ou portions de territoire et enfin aux familles de paysage ou métasystèmes), ou de produire des bases de données et d'élaborer des indicateurs d'interactions.
- La reconstitution des (anthropo)systèmes passés et l'analyse des processus adaptatifs : bases de données archéologiques permettant de comprendre les modalités du comportement humain, datation et succession de systèmes techniques, chronologie culturelle,...
- L'analyse des services écologiques : identification des services, leur description, leur mode de fonctionnement, rôle des institutions, identification et rôle des usagers, jeux d'acteurs, analyse des valeurs.
- Les Systèmes Multi-Agents (SMA), permettant d'alimenter des modélisations multi agents et les jeux de rôle pour l'élaboration de divers scénarios, la mise en situation de tous les acteurs et l'analyse des déterminants du choix.
- Les méthodologies développées par les chercheurs travaillant sur la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) qui s'appuient sur une approche globale (ou intégrée) à diverses échelles spatio-temporelles, prenant en compte une grande diversité de variables et d'acteurs et visant une co-viabilité des systèmes écologiques et sociaux sur des réflexions sur la gestion

« concertée » ou sur la gestion participative devrait pouvoir être transférée à des zones non côtières.

- Le couplage entre les modèles biologiques, physiques, biogéochimiques et socio-économiques, très rarement mis en œuvre, est à privilégier pour comprendre et scénariser les changements de biodiversité (cf. chapitre « Modéliser »).

Action 4 - Mobilisation, animation et structuration des communautés scientifiques pour relever les défis de l'interdisciplinarité

Attirer les chercheurs sur le terrain de la biodiversité nécessite une meilleure identification du thème biodiversité (nombre d'entre eux en traitent mais soit sans le placer au centre de leurs préoccupations soit même « sans le savoir »). Il est donc primordial de mettre en œuvre un affichage clair et précis du thème biodiversité. **Un recensement des acteurs de la recherche en biodiversité serait ici hautement utile, tant au niveau des régions que national.**

Il est également important de susciter fortement la construction de travaux interdisciplinaires, de fournir une aide à l'élaboration de ces programmes, d'habituer les chercheurs des différentes disciplines à travailler ensemble et de leur permettre d'acquérir un vocabulaire commun. On peut aussi favoriser la prise de risque (tant du point de vue conceptuel que de celui de l'épistémologie) en soutenant les appels d'offre « projets à risque » et en faisant appel à des jurys d'experts qui n'évaluent pas au seul critère de leur discipline, tout en ayant à l'esprit qu'il est difficile de trouver le même niveau d'excellence pour chacune des composantes disciplinaires de tels projets. La mise en place de financements incitatifs à la construction de projets interdisciplinaires sera un élément important de cette stratégie.

A l'heure actuelle il n'existe pas de structure qui permettrait d'éviter le risque non négligeable de dispersion inhérent aux approches interdisciplinaires. Plusieurs pistes devraient être explorées :

- Une « plate-forme » en zone inter-tropicale, par exemple en Afrique, pour capitaliser les acquis, qu'il s'agisse des bases de données anciennes ou des réseaux de partenaires, dans la perspective du nécessaire soutien les communautés scientifiques locales. Le concept d'« observatoire mobile », boîte à outils et d'expertise partageable et transférable d'une région à l'autre, est à mettre en place.
- L'encouragement à la création de liens effectifs de la recherche avec les acteurs et avec les usagers. Cela passe par le soutien à la co-expertise et l'encouragement aux recherches participatives.

Formation

- Le développement des formations interdisciplinaires sur la biodiversité, très faiblement présentes par comparaison à nombres d'autres pays occidentaux, est essentiel pour que la recherche puisse disposer de personnel qualifié. Ces formations devront inclure l'ensemble des sciences humaines et sociales et des modules d'écologie des paysages. Un facteur de blocage à un tel développement réside actuellement dans le manque de débouchés professionnels identifiés pour les étudiants diplômés.

- La mise en œuvre de formation continue des chercheurs aux approches interdisciplinaires au travers de séminaires, d'écoles thématiques ou d'universités d'été doit être encouragée (avec dotation financière) et les efforts existants ou à venir devraient être soutenus fortement.
- La formation et l'appui aux équipes de recherche dans des régions éloignées, y compris au travers de la participation conjointe à des projets de recherche et de formation à la recherche (formation initiale, supérieure et continue, technique et scientifique, écoles chercheurs entre autres), au risque de perdre rapidement les réseaux existants et d'assister à une baisse rapide des compétences.

Niveau institutionnel

- Remise en cause de l'évaluation actuelle des chercheurs travaillant de façon interdisciplinaire, au niveau des approches transversales et de l'expertise (création de nouvelles sections du CNU, de la CNECA (enseignement agronomique) ou des instances d'évaluation des organismes de recherche.
- Unifier la communauté de recherche en écologie (société d'écologie, colloques communs), favoriser des colloques ouverts.

ENCART 8 : ANALYSER LES INTERACTIONS CHIMIQUES AU SEIN DES COMMUNAUTÉS : UN DEFI MAJEUR POUR MIEUX COMPRENDRE LA BIODIVERSITE

L'Écologie chimique est l'étude du rôle des médiateurs chimiques dans les interactions entre les organismes vivants. Ces molécules de signal ou de défense régissent de vastes niveaux d'organisation biologique depuis les microbes jusqu'aux plantes ou aux animaux, au sein de très nombreux habitats et écosystèmes marins et terrestres. La plupart des organismes vivants perçoivent leur environnement essentiellement grâce aux signaux chimiques qui eux même interviennent dans la régulation de la structure des populations, l'organisation des communautés et le fonctionnement des écosystèmes en général. **L'écologie chimique se trouve donc au cœur des questions fondamentales en biologie évolutive et en écologie fonctionnelle sur l'origine et le maintien de la biodiversité.** Les médiateurs chimiques déterminent les stratégies et les choix alimentaires, les associations symbiotiques, la sélection des partenaires sexuels et des habitats, les mécanismes d'évitement de prédateurs ou de défense ainsi que les transferts d'énergie et de nutriments au sein et entre les écosystèmes. Pour ne citer qu'un exemple, chez les invertébrés marins, la larve est le principal vecteur de la dispersion, représentant ainsi un stade clé pour le maintien des populations. L'induction de la métamorphose des larves et leur sédentarisation en des points précis, notamment à proximité d'individus de la même espèce, dépend de la détection par la larve de molécules signal de différentes natures. Ce type d'approche peut permettre d'appréhender différemment l'étude des espèces invasives.



Photo: R. Stolba – Station Biologique Roscoff

Figure 8.1 : Larve de crépidule.

La chimie écologique est une discipline récente et **la plupart des molécules qui ont été caractérisées jusqu'à présent l'ont été par des chimistes des substances naturelles qui recherchaient des métabolites possédant des activités dans le domaine biomédical, plutôt que des métabolites actifs sur le plan écologique.** Il reste beaucoup à découvrir en ce qui concerne la nature précise des composés qui interviennent dans les communications chimiques. Ils peuvent être

présents à très faible concentration, sous forme de mélange et peuvent parfois se dégrader rapidement. Il reste aussi souvent à élucider si ces métabolites sont synthétisés par des micro-organismes symbiotiques ou associés, voir sont le produit d'une synthèse conjointe entre deux partenaires macro et micro. L'amélioration considérable des techniques de chimie analytique et le développement de tests biologiques et écologiques ont simplifié le criblage et le phénotypage à grande échelle des échantillons de produits naturels et devraient permettre de décrypter les processus et mécanismes chimiques qui gouvernent les interactions biotiques complexes des écosystèmes terrestres et marins. L'intégration de ces approches à celles de la post-génomique rend aussi envisageable l'identification des protéines impliquées dans ces interactions, telles que les récepteurs des facteurs olfactifs, les enzymes impliquées dans la biosynthèse des phéromones et des toxines ou dans la dégradation des molécules de défense.

Enfin, l'identification de marqueurs chimiques qui peuvent constituer des indicateurs environnementaux de perturbation d'origine naturelle, climatique ou anthropique relève également de l'écologie chimique, de même que l'étude de l'impact des composés xénobiotiques sur le fonctionnement des écosystèmes et sur la conservation ou l'altération de la biodiversité.

MODELISER ET SCENARISER LES CHANGEMENTS DE BIODIVERSITE

« Toutes choses se tiennent. Tout ce qui arrive à la terre, arrive aux fils de la terre. Ce n'est pas l'homme qui a tissé la trame de la vie: il en est seulement un fil. Tout ce qu'il fait à la trame, il le fait à lui-même. »

Sitting Bull, 1886. Lettre au Président des États Unis d'Amérique.

A. ENJEUX ET QUESTIONNEMENTS

Certaines évaluations récentes des impacts du changement global sur la biodiversité, basées sur des modèles, suggèrent qu'**une large proportion des espèces de notre planète courent un grand risque d'extinction, et que des modifications substantielles de la répartition et de l'abondance des génotypes, espèces et biomes surviendront d'ici la moitié de ce siècle** (Thomas *et al.* 2004, Millennium Assessment 2005, IPCC 2007, Global Biodiversity Outlook 2007). Les facteurs à l'origine de ces changements sont la destruction des habitats, le changement climatique, la surexploitation des ressources biologiques, les espèces envahissantes et la pollution (voir axe "Documenter"). Dans de nombreux cas, on prédit que ces changements futurs de biodiversité s'accompagneront de la dégradation de services écosystémiques, et d'un déclin du bien être humain (MA 2005). Ces scénarios sont appuyés par des observations montrant que nombre de ces tendances sont déjà en cours (MA 2005, IPCC 2007, FAO 2008).

Biodiversité : Dynamique observée et projetée

A l'échelle mondiale, plusieurs atteintes majeures de la biodiversité sont prévues par les modèles si des actions fortes de protection de l'environnement ne sont pas mises en œuvre dès aujourd'hui. Par exemple, le dépérissement des coraux et la dégradation des récifs coralliens dû à l'acidification des océans, au changement climatique, à la surexploitation et à la pollution constituent l'une des atteintes majeures de biodiversité prévue par les modèles, et confirmée par les tendances actuelles (Hoegh-Guldberg *et al.* 2008, voir Encart 9). Le dépérissement de larges étendues de forêts tropicales méga-diverses en Amérique du Sud et Afrique centrale, résultant de la déforestation, des feux et du changement climatique est aussi prévue par certains modèles et confirmée par des dépérissements récents liés aux accidents climatiques (Malhi *et al.* 2008).

A l'échelle nationale, les projections suggèrent que **des changements futurs du climat et de l'utilisation des sols constituent des menaces importantes** pour les activités agricoles, l'intégrité des aires protégées telles que les parcs régionaux et nationaux, la santé et la répartition d'espèces forestières ou marines, la distribution et l'abondance des oiseaux, etc. (Thuiller *et al.* 2005, Jiguet *et al.* 2007). Sur la base de ces projections, la communauté scientifique recommande que des mesures internationales soient prises rapidement pour minimiser le changement climatique et

réduire la pression globale exercée par les cultures alimentaires et énergétiques sur l'utilisation des terres. La communauté scientifique recommande aussi que des stratégies de gestion adaptative soient développées pour accroître la résilience des écosystèmes et pour faciliter les transformations les moins dommageables à l'environnement là où le changement est inévitable (MA 2005, IPCC 2007).

Rôle des modèles

Les modèles sont avant tout une représentation simplifiée de phénomènes complexes, leur validité dépend de la force des hypothèses des simplifications utilisées. Ils peuvent avoir pour fonction de comprendre la structure et les fonctionnements des systèmes observés, de servir d'aide à la décision ou d'aider à la prospective. Ils peuvent être soit statiques c'est-à-dire que l'on cherche à comprendre les phénomènes en ne jouant que sur une variable, les autres restant fixes, soit dynamiques quand les variables évoluent les unes par rapport aux autres dans le temps, ce qui suppose souvent le choix d'un taux d'actualisation, soit stochastiques lorsque l'on introduit le risque ou l'incertitude sous la forme de variables d'écart ou de variables aléatoires.

Les modèles mathématiques jouent plusieurs rôles clé dans la compréhension et la prédiction des changements de biodiversité, puisqu'ils permettent :

- 1) de synthétiser, de manière quantitative, des informations disparates provenant d'une grande variété d'observations et d'expériences, et ainsi d'accroître notre compréhension des mécanismes à l'origine de ces changements en biodiversité,
- 2) d'anticiper les futurs changements de biodiversité sur la base des scénarios socio-économique et environnementaux,
- 3) de coupler les changements de biodiversité prévus aux modifications associées des services écosystémiques et du bien être humain, et
- 4) d'évaluer les bénéfices potentiels ou les effets négatifs de l'action politique et de la gestion.

Le développement de modèles plus complets représente une priorité absolue. En effet, les outils existants ne parviennent pas à prendre en compte la complexité des interactions entre la biodiversité et ses multiples déterminants ("drivers"); ils ne couvrent pas une gamme d'échelles temporelles et spatiales suffisamment large pour être pertinents pour la prise de décision aux échelles à la fois locales et internationales et sont généralement mal couplés aux outils utilisés pour la prise de décision.

Scénarios et aide à la décision

Un enjeu majeur pour la recherche sur la biodiversité est de parvenir à élaborer des scénarios de changements de biodiversité pertinents aux échelles paysagères, régionale, nationale et globale. Des informations sur les changements actuels et futurs de biodiversité, intégrées à l'échelle du globe ou de continents, sont en effet nécessaires pour répondre aux interrogations concernant les taux d'extinction d'espèces, les modifications de composition des communautés biologiques, la répartition des biomes, etc... induits directement et indirectement par les activités humaines. La compréhension de l'effet des facteurs locaux et globaux sur la biodiversité, qu'elle soit évaluée localement ou globalement, est nécessaire pour mettre en œuvre des politiques *ad hoc*, et pour évaluer les effets de telles politiques. La diversité biologique est aussi fortement déterminée par des facteurs locaux (nature des sols et du climat, type d'activités humaines et caractéristiques des

paysages, etc...) et les relations homme-biodiversité prennent souvent tout leur sens à ces échelles.

Au delà de la gamme d'échelles spatiales à prendre en compte, le choix des échelles temporelles à privilégier est également crucial. Les échelles auxquelles les politiques sont censées avoir un impact en matière de biodiversité sont de l'ordre de quelques décennies. Un horizon plus rapproché ou plus lointain rend des prédictions beaucoup plus difficiles à réaliser, avec des effets aléatoires plus importants lorsque l'on examine le futur le plus immédiat, et des effets seuils, de surprise, plus importants à un horizon lointain.

Les scénarios à développer ne doivent pas être vus comme des prévisions *sensu stricto*, et, au contraire, doivent tenter de capturer une gamme de possibilités futures. Leur utilisation a comme objectif (i) d'établir des projections d'évolution de la biodiversité basées sur des scénarios socio-économiques et climatiques ; et (ii) de parvenir à analyser les choix et décisions permettant soit d'aller vers des états futurs acceptables ou au contraire risquant de nous mener à des états futurs à éviter, en contrôlant les impacts à travers une redéfinition des politiques courantes et une évaluation de la pertinence de différentes politiques.

Pour développer de tels scénarios, le défi pour la communauté scientifique est de développer des modèles couplés (Figure 1), alliant écologie (biodiversité en intégrant les dimensions fonctionnement et services, adaptation et évolution), économie, sciences humaines et sociales, science du climat, biogéochimie, sciences politiques...

L'élaboration rigoureuse de scénarios nécessite, à l'image de ce qui a été fait pour le changement climatique, un effort majeur pour développer de nouveaux outils de modélisation et pour structurer la communauté scientifique travaillant à l'élaboration de scénarios sur les changements de biodiversité. Les outils à développer ont pour cœur des modèles de dynamique de la diversité biologique et du fonctionnement des écosystèmes, concernant au premier chef les disciplines de l'écologie (Figure 1). Mais un enjeu clé est de mettre en relation ces dynamiques avec leurs déterminants et conséquences physico-chimiques, sociales et économiques (Figure 1).

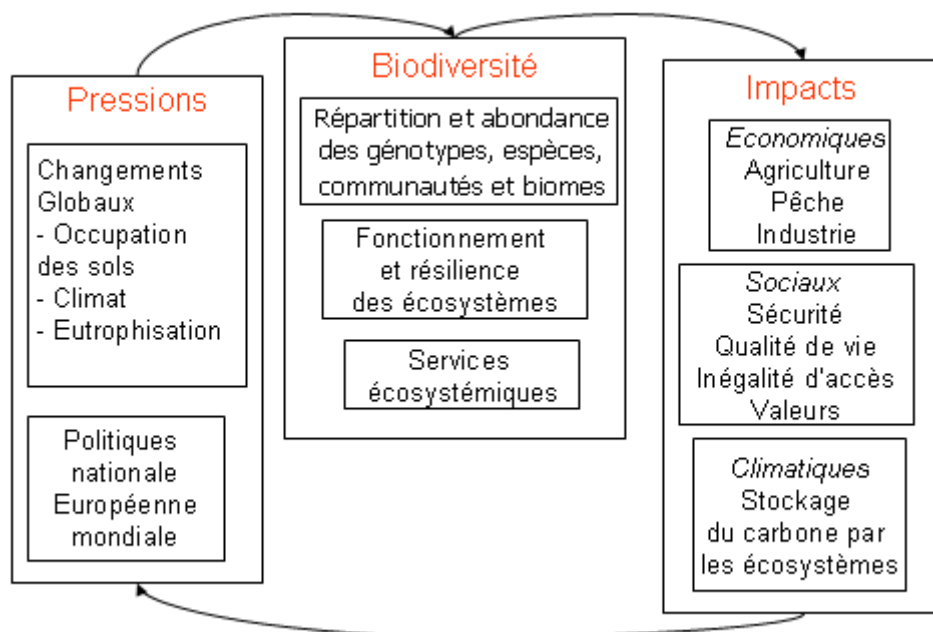


Figure 2. Objectifs généraux de la modélisation pour l'élaboration de scénarios de biodiversité. Le couplage entre 'changements de biodiversité', 'réponses des sociétés', 'modifications des pressions' est l'objectif central de cet axe.

B. SITUATION ACTUELLE : FRANCE, EUROPE, MONDE

Situation nationale

Forces - Deux points forts majeurs permettent de penser que la communauté scientifique française peut relever ce défi. Le premier point fort est que la communauté de chercheurs ici mobilisables existe pour l'essentiel, avec quelques équipes qui ont une large reconnaissance internationale dans le domaine de la modélisation de la biodiversité aux divers niveaux d'intégration, du gène à l'écosystème. Plus encore, les compétences disponibles couvrent un large spectre de types de modèles (voir plus loin), rendant possible des approches complémentaires et coordonnées, et favorisant les démarches de comparaison entre types de modèles. Par ailleurs, l'expérience des climatologues français, en pointe à l'échelle mondiale, pourrait bénéficier au projet, y compris en s'inspirant de leur mode d'organisation collective. Une autre force dans ce contexte est la forte compétence en modélisation couplée biologique/analyse économique pour les milieux marins.

Faiblesses - Il sera nécessaire ici de **développer l'inter-disciplinarité**, tout en respectant l'excellence scientifique. Renforcer l'interdisciplinarité est donc une nécessité absolue pour que la communauté puisse bâtir les modèles et produire les scénarios évoqués ci-dessus. Le deuxième point faible à souligner est la trop faible représentation des thèmes Ecologie et Biodiversité dans les instances de la Recherche et les ministères (très peu de chargés de mission dédiés), l'Académie des Sciences, etc... Ceci est clairement un handicap dans une période difficile en terme

de capacité de financement où serait nécessaire le (re)déploiement de moyens matériels à la hauteur des enjeux précisés ci-dessus.

Situation internationale

Si la France est dotée de réels atouts pour relever le défi de la modélisation et scénarisation de la biodiversité, il est important de le faire sans plus attendre car elle peut dès aujourd'hui contribuer de façon importante aux initiatives majeures lancées récemment par la communauté internationale.

- DIVERSITAS et d'autres programmes internationaux de l'ESSP (Earth System Science Partnership) développent des réseaux et des stratégies permettant la construction de scénarios régionaux et globaux de l'impact des changements globaux sur la biodiversité et sur les services écosystémiques. Ces approches ont comme objectifs **le développement de nouvelles méthodes de modélisation, la paramétrisation et validation des modèles avec des bases de données mondiales, l'analyse des incertitudes des scénarios, le couplage entre les modèles de biodiversité et les scénarios socio-économiques**, etc. (ex : plan scientifique "bioDISCOVERY" de DIVERSITAS, voir www.diversitas-international.org).

- Les scénarios de biodiversité joueront un rôle clé dans les évaluations environnementales régionales et globales en cours et futures. Par exemple, le G8 a lancé une évaluation mondiale de la valeur de la biodiversité et des services écosystémiques, connue comme l'initiative TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, voir <http://ec.europa.eu/environment>), à l'instar du "rapport Stern" pour le changement climatique. Cette évaluation et ses suites s'appuieront sur des scénarios de biodiversité et des services écosystémiques afin d'estimer la valeur de la biodiversité et le coût de l'inaction face aux pertes potentielles de biodiversité. Plusieurs autres évaluations sont en cours : les "sub-global assessments" du Millennium ecosystem Assessment, le "Global Biodiversity Outlook 3" de la Convention sur la Diversité Biologique (<http://www.cbd.int/gbo3>), le programme EURECA de la communauté Européenne (voir <http://biodiversity-chm.eea.europa.eu/>), etc. **Dans un avenir proche, les scénarios occuperont une place centrale dans les évaluations prévues dans le cadre de l'Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES, voir UNEP/GC.25/15).**

- Plusieurs programmes internationaux (par ex. IPCC, EU-ENSEMBLES, etc.) développent des scénarios socio-économiques et climatiques ayant comme objectif de fournir des projections futures de l'utilisation des terres, des changements climatiques, etc. pour les études d'impacts sur l'environnement. Ces scénarios alimenteront les modèles de la dynamique de la biodiversité. C'est pour cette raison qu'une étroite collaboration avec ces programmes est essentielle pour assurer l'accès et les contributions à ces scénarios.

C. OPPORTUNITES ET VEROUS

Amélioration du traitement de l'incertitude des scénarios

Une nécessité : Développer des modèles quantifiant l'incertitude associée aux scénarios fournis

Jusqu'ici, très peu de travaux ont porté sur la sensibilité des scénarios de changements de biodiversité vis à vis du choix des modèles de réponse de la biodiversité utilisés. En particulier, alors que d'autres domaines de modélisation de l'environnement ont développé des approches de **test de sensibilité et de comparaison de modèles pour mieux comprendre et renforcer la crédibilité des processus saisis par les modèles** (voir par exemple les travaux réalisés par la communauté des sciences du climat), ceci reste largement à faire dans le domaine de la modélisation de la dynamique de la biodiversité.

L'enjeu est important, car il s'agira de conforter la validité, et au final l'acceptabilité et la prise en compte, des modèles et des scénarios qu'ils génèrent.

Approches nouvelles de modélisation de réponses de la biodiversité

Un enjeu : l'hybridation des modèles écologiques développés à différentes échelles spatiale et temporelle

Ces différents types de modèles peuvent se nourrir l'un l'autre ou offrir un potentiel de confrontation de scénarios générés par des approches différentes. Les approches corrélatives peuvent ainsi progressivement intégrer des mécanismes de biologie des populations et des communautés. Les règles de fonctionnement et de dynamique, par exemple de propagation des perturbations et des réseaux écologiques, peuvent alors être prises en compte. Inversement, les modèles mécanistes peuvent utiliser des approches corrélatives afin de calibrer sur l'ensemble des espèces un modèle général. Les méthodes d'extrapolation et les modèles de pressions-réponses de métapopulations peuvent être utilisés ponctuellement pour valider et calibrer les modèles utilisés, alors que des modèles précis peuvent être développés pour des espèces clés, représentatives, ou encore emblématiques.

Dans un contexte de changement global, **la question des temps de réponse des systèmes est cruciale**. En particulier, les mécanismes d'interaction biotique entre organismes ayant des vitesses d'évolution différentes devront être mieux pris en compte. De même, les mécanismes d'évolution, et en particulier la capacité adaptative des populations, devront être intégrés dans les modèles.

Construire des modèles de dynamique de la biodiversité nécessite non seulement des compétences en modélisation écologique, mais aussi de fortes compétences en modélisation physico-chimiques, économique et socio-anthropologique.

Malgré les opportunités qu'offrent les compétences déjà présentes dans la communauté scientifique française, construire des scénarios fiables et pertinents de changements de la biodiversité se heurtera à des difficultés majeures dont certaines sont identifiées ci dessous.

La difficile intégration des échelles spatiales et temporelles

Les processus à certaines échelles d'espace / certains niveaux d'organisation et à certaines échelles de temps ne sont pas réductibles à des niveaux supérieurs ou inférieurs. Il faudra donc développer les outils et les concepts qui mettent en relation les modèles développés aux différentes échelles. Par exemple, les liens existant

entre services et biodiversité doivent être étudiés de façon intégrée, pour des services locaux (maintien de la fertilité des sols), exportables (épuration de l'eau) et globaux (séquestration du carbone). Il faut ici garder à l'esprit que l'entrée « écosystème », souvent privilégiée dans les études actuelles, n'est pas nécessairement la meilleure ou la seule à prendre en compte.

La validation des conclusions apportées par les modèles devra particulièrement tenir compte des solutions apportées à ces problèmes de transferts et intégrations d'échelles.

Le nécessaire couplage de modèles de différentes disciplines

La prospective socio-économique et les dynamiques écologiques et physico-chimiques ne se situent pas toujours aux mêmes pas de temps. Il faudra donc rendre compatibles les différentes échelles temporelles : temps long en socio-anthropologie, temps moyen à long en écologie (selon les organismes considérés), temps courts à long en physico-chimie, temps court en économie.

L'intégration de modèles venant de l'écologie, de l'économie, de la physico-chimie et de la socio-anthropologie serait facilitée par l'adoption d'unités spatiales et temporelles communes.

Les limites des modèles existant et le besoin de créer de nouveaux concepts et de nouvelles bases de modélisation

Le texte ci-dessus souligne à quel point les outils de modélisation existant offrent d'ores et déjà un potentiel très fort pour explorer le devenir possible de la biodiversité. Si utiliser ce potentiel devra être une priorité, il est important de ne pas croire qu'un simple jeu de mécano couplant différents types de modèles existant suffira toujours pour faire face aux défis que constitue la scénarisation des changements de biodiversité. Il est certain que **de nouveaux concepts ou de nouvelles bases de modèles seront parfois à inventer pour répondre de façon pertinente à ces défis**. Il faudra donc ici évaluer les risques de la « dictature des méthodes analytiques et cartésiennes » et le potentiel d'autres approches, telles que la modélisation systémique (Le Moigne, 1990. La modélisation des systèmes complexes).

D. PROPOSITION D' ACTIONS, D' OUTILS ET DE MOYENS

C'est donc dès maintenant qu'une démarche forte et coordonnée de la communauté française pour relever le défi de la modélisation et de la scénarisation des changements de biodiversité doit être promue. Cette démarche pourra alors se coordonner avec les initiatives internationales et européennes dans le domaine et pourra bénéficier des méthodes développées et des résultats obtenus ; elle permettra à la France d'être dans le peloton de tête dans ce domaine stratégique. A l'inverse, une absence d'action clé en ce sens dans les années qui viennent verrait un retrait sensible de la position de la communauté française à ce niveau, et à terme une moindre capacité de la France à éclairer les scénarios de changements de biodiversité et de développement durable et donc à exercer son influence dans les cénacles qui définiront la politique et la réglementation internationale dans ces domaines.

On peut rassembler ces objectifs selon trois volets.

- Acquisition et valorisation des données existantes.

- Construction de modèles de dynamiques de la biodiversité.
- Structure narrative des scénarios.

ACTION 1 - Mettre sur pied un réseau français coordonné de modélisateurs des changements de biodiversités sous la forme d'un institut de la modélisation de la biodiversité

La communauté scientifique française développe différents types de modèles qui sont complémentaires quant au degré de compréhension de mécanismes qu'ils visent et du nombre d'espèces modélisées (Figure 2).

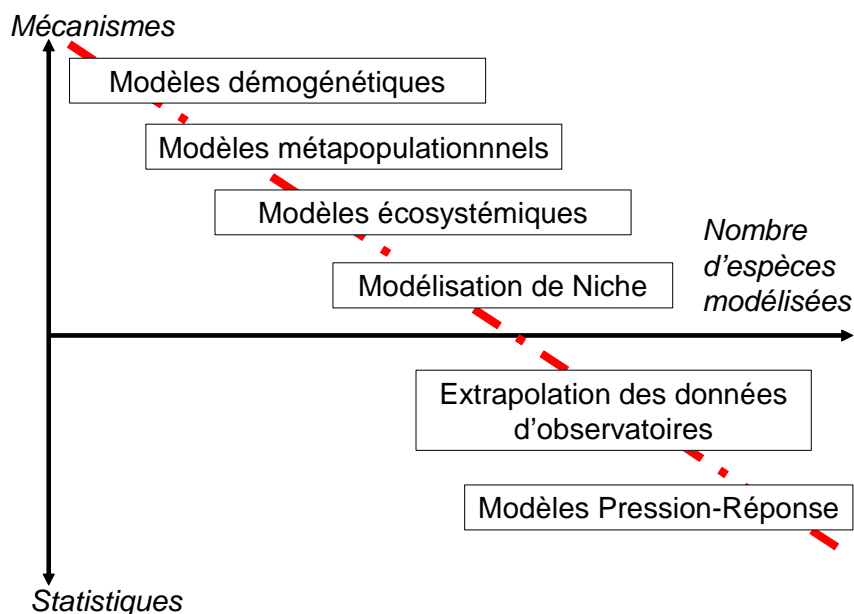


Figure 3. Différents types de modèles écologiques pour analyser et prédire la dynamique de la biodiversité. On peut schématiquement classer les modèles selon le compromis fait entre le niveau de prise en compte des mécanismes mis en œuvre et le nombre d'espèces pris en compte.

Tout en renforçant les réseaux et plateformes de modélisation existants, il sera nécessaire de **disposer d'un cadre pour que les modélisateurs puissent travailler ensemble; ils pourront ainsi mettre en relation les différents modèles, confronter les approches, et disposer d'un accès privilégié aux données disponibles.** Il conviendra de mettre à la disposition de la communauté de modélisateurs de différentes disciplines des outils (plateformes de modélisation, outils de calcul) permettant de construire et intégrer les modèles. Un bon exemple de cette démarche est la plateforme CAPSIS partagée par une communauté scientifique de modélisateurs en dynamique forestière, en qualité des bois, en économie, et depuis peu utilisée également par les modélisateurs de dynamiques de populations de poissons. Le partage des outils de modélisation facilite dans ce cas l'intégration entre modèles (<http://capsis.free.fr>). Il s'agira aussi de fournir à la communauté scientifique des outils d'analyse et de simulation basés sur les modèles précédents. Il s'agira alors de valider ces modèles, en utilisant les données précédentes et à l'aide d'analyse rétrospective. Il s'agira enfin d'assembler les modèles développés,

permettant de générer des résultats quantifiés selon les différents scénarios élaborés. Cette activité s'appuiera sur l'ensemble des laboratoires travaillant dans le domaine, et des groupements et réseaux existant dans le domaine (GIP Ecofor, GDR ComDyn, Centre de Recherches Halieutiques, plateformes de modélisation...).

Une telle plate-forme nationale, sous la forme d'un Institut de la Modélisation de la Biodiversité, nécessitera le recrutement des jeunes chercheurs, d'ingénieurs en éco-informatique, et la mise en place de moyens importants de calcul et de stockage des données dédiés à l'éco-informatique ainsi que des moyens pour réunir régulièrement la communauté scientifique. **Cet institut sera initialement une structure sans mur de coordination des réseaux et plates-formes de modélisation existantes, mais le besoin d'une structure centrale en charge de cette coordination nécessitera le regroupement de la direction de cet institut et de plusieurs équipes en un même lieu.**

Action 2 : Développer des scénarios du futur de la biodiversité intégrant des interactions avec un large spectre de facteurs socio-économiques et environnementaux.

Quelle diversité biologique et quelles pressions humaines prendre en compte ?

Dans le contexte des écosystèmes cultivés, il existe un double enjeu de gestion durable de la biodiversité exploitée (ressources génétiques) et de gestion durable de la biodiversité assurant des fonctions auxiliaires de la production (pollinisation, fertilité du sol, régulation des interactions biotiques...).

Dans le contexte des écosystèmes "naturels" ou faiblement anthropisés, l'enjeu majeur aujourd'hui est d'aller au-delà de la scénarisation du devenir de quelques espèces caractéristiques de problématiques environnementales particulières, par exemple le loup pour les espèces rares et menacées, les Jussies pour les espèces invasives, les chevreuils et campagnols pour les espèces ayant un impact significatif et non contrôlé sur les activités humaines, ou encore les arbres jouant un rôle structurant pour les communautés forestières ou ayant une forte valeur économique, etc.

En fait, **le défi est ici de s'intéresser de façon plus large à l'état de la biodiversité et des écosystèmes, en mettant notamment l'accent sur la biodiversité ordinaire et la composante fonctionnelle de la biodiversité, ainsi que la biodiversité appréhendée à l'échelle des communautés et leur résilience.** Un tel travail s'appuie sur, et alimente, la notion d'équivalence écologique (voir chapitre "Comprendre"). Dans ce contexte, il faudra sans doute considérer d'abord des groupes fonctionnels majeurs (végétation, ravageurs, pollinisateurs et autres auxiliaires...).

En complément, un effort particulier devra être fait pour identifier les composantes de la biodiversité qui peuvent être des indicateurs particulièrement sensibles ou constituent des systèmes d'alerte face à de possibles altérations soudaines de la biodiversité et des services écosystémiques.

• **Tache 2.1. Renforcement des liens avec les chercheurs développant des scénarios de pressions**

Modèles économiques et de jeux d'acteurs

Une société peut s'envisager comme un champ de forces dans lequel coexistent et rivalisent des expertises, des savoir-faire et des logiques d'action multiples. La manière dont se construisent les interactions varie : chaque contexte distribue différemment les ressources entre les acteurs et contribue à former une structure de relations de pouvoir et de synergies, déterminant les dynamiques économiques.

Les modèles multi-agents envisagent déjà l'importance de la distribution spatiale de ces interactions, et sont particulièrement à même de favoriser des approches participatives à échelle locale. La communauté française a développé des compétences dans ce domaine. Par exemple, Ker-Alarm est une plateforme de délibération multi-échelle, du paysage à l'Europe, qui pourrait constituer une approche pertinente. De tels modèles ont aussi été développés dans le cadre de la gestion des espèces marines exploitées.

Modèles socio-anthropologiques

Les modèles présentés ci-dessus peuvent être conditionnés à des modèles socio-anthropologiques, qui définissent objectifs et critères d'optimisation des acteurs, selon leurs valeurs et leurs représentations. Ces dernières sont elles mêmes sujettes à réponses aux variations de biodiversité.

En d'autres termes, l'évolution des priorités des acteurs a un rôle fondamental dans le déroulé des scénarios. Les anthropologues permettront de formaliser l'évolution de ces priorités, et leurs déterminants.

Action 3 : Lier les scénarios de biodiversité à la dynamique des services écosystémiques et à l'aide à la décision

3.1 - Coupler les scénarios de biodiversité et de services écosystémiques

La plupart des scénarios de biodiversité fournissent peu d'informations au-delà des changements d'abondance et de distribution de certaines espèces. **Il est souvent difficile, pour ne pas dire impossible, de traduire ces scénarios en terme de devenir des services écologiques** (*sensu* MA 2005). Ceci réduit fortement l'impact de tels scénarios sur les gestionnaires des écosystèmes ou les décideurs politiques.

Il existe plusieurs approches pour faire le lien entre biodiversité et services écologiques :

- Les relations entre biodiversité / fonctions écosystémiques / services écosystémiques (*BD / EF / ES*) peuvent être utilisées pour estimer l'effet des modifications de richesse spécifique et abondance des espèces sur les fonctions et services des écosystèmes. Cependant, la plupart des travaux réalisés jusqu'à présent ont pris en compte des pertes aléatoires d'espèces et non des scénarios réalistes de changement de biodiversité (voir axe "Comprendre").
- Les "Modèles de dynamique et fonctionnement des écosystèmes" peuvent relier directement les changements de "biodiversité" aux fonctions et services des écosystèmes (en particulier les services d'approvisionnement, de régulation et

de soutien au sens du MA 2005). Cependant, ces modèles s'appuient généralement sur une représentation très simplifiée de la "biodiversité" (Figure 2).

- Des approches plus qualitatives peuvent comparer l'impact des facteurs courants sur la biodiversité et les services écologiques.

Les actions proposées sont les suivantes :

1. **Resserrer le lien entre la communauté qui développe des scénarios de biodiversité et celle qui s'intéresse aux relations Biodiversité / fonctions écosystémiques / services écosystémiques.** Ce lien sera favorisé en fédérant des équipes, approches et disciplines différentes sur des situations et des écosystèmes communs (voir section 'observatoires' dans le chapitre « Documenter »). Cela impliquera d'établir un continuum entre les chercheurs se focalisant sur les relations biodiversité (surtout fonctionnelle) – fonctions - services, travaillant souvent à des échelles fines (du microcosme à la parcelle ou à la 'petite' masse d'eau) et développant souvent leur raisonnement à l'échelle écosystème, et ceux analysant les dynamiques de la biodiversité (avec une vision surtout taxonomique) travaillant souvent à des échelles plus larges (réseau écologique, paysage, région, voire continent ou globe).
2. **Améliorer la représentation de la biodiversité dans les modèles de dynamique et fonctionnement des écosystèmes et ajouter ou améliorer la représentation de fonctions écosystémiques dans les modèles de dynamique de la biodiversité.** En synergie avec l'action ci-dessus, le renforcement et le développement de réseaux (GIS, GDR, etc.) ainsi que des appels à propositions de recherche ciblés pourront contribuer à cet objectif.

3.2 – Utiliser les scénarios de biodiversité pour renforcer les liens entre la recherche et la gestion des ressources naturelles

Actuellement, la gestion de la biodiversité se focalise souvent sur des buts à court terme. **Cette gestion doit être largement repensée car des changements majeurs sont attendus au 21^{ème} siècle**, du fait principalement des changements d'usage des terres, de la surexploitation des ressources naturelles et des changements climatiques. La réponse à ces changements doit commencer dès maintenant en s'appuyant sur des scénarios. Une des principales difficultés réside dans le fait que le futur reste incertain et que les stratégies de réponse aux changements doivent prendre en compte cette incertitude. Ensemble, chercheurs et gestionnaires des ressources naturelles doivent utiliser les scénarios de biodiversité et d'autres informations pour :

- Développer des stratégies pour accroître la résilience des écosystèmes aux changements globaux.
- Planifier la transformation des écosystèmes lorsque l'adaptation aux changements globaux apparaît impossible.

Bien souvent, la recherche devra permettre d'évaluer si un écosystème est encore peu dégradé et s'il faut renforcer sa capacité de résilience, ou au contraire, si l'on doit réfléchir à l'établissement d'un système complètement différent.

Les actions proposées sont les suivantes :

1. **Renforcer les interfaces existantes entre recherche et gestion** et si nécessaire en créer de nouvelles (par exemple, les interfaces entre l'INRA et l'ONF en matière de gestion des forêts face au changement climatique, ou entre les institutions de recherche travaillant sur les domaines aquatique et marin (IFREMER, IRD, CIRAD) et les structures professionnelles en charge de la gestion des pêches. Un effort similaire est à prévoir en matière de gestion des systèmes d'élevage qui eux aussi vont connaître des bouleversements qualitatifs et spatiaux sous l'effet des changements climatiques.
2. **Promouvoir des appels à projets ciblés** permettant d'accompagner ce nécessaire renforcement des liens entre recherche et gestion (par exemple, dans la suite des appels à projets type ANR Biodiversité "6^{ème} extinction").

3.3 - Intégrer l'utilisation des scénarios de biodiversité dans les politiques internationales, nationales et locales

Les scénarios de biodiversité ont jusqu'à présent eu un faible impact sur les décideurs, à la différence des scénarios climatiques qui sont devenus un élément clé tant pour faire comprendre l'impact des changements climatiques que pour servir de base au développement de politiques nationales et internationales de lutte contre le changement climatique. Pour partie, cela est dû à la complexité inhérente au développement de scénarios de biodiversité robustes et didactiques, mais c'est aussi le résultat d'un manque de communication entre recherche et politique. A cet effet, un effort important de vulgarisation des résultats devra être entrepris.

Les actions proposées sont les suivantes :

1. Mettre sur pied un programme à l'échelle nationale pour **élaborer des synthèses globales ou ciblées de scénarios de la biodiversité**. Ceci devra inclure une réflexion de fond sur les indicateurs de biodiversité utilisés, à la fois scientifiquement pertinents et précis, mais aussi didactiques (voir réflexion actuelle sur les indicateurs 'post 2010' pour la CDB).
2. **soutenir la création d'une plate-forme inter-gouvernementale pour le dialogue entre science et décideurs** (IPBES) en utilisant au mieux le potentiel constitué par les scénarios de biodiversité développés par la recherche.
3. encourager et soutenir financièrement la **participation des meilleurs équipes françaises à des consortiums de recherche européens ou internationaux se consacrant à l'élaboration de scénarios de biodiversité**.

ENCART 9 : Pourquoi et comment scénariser les changements de biodiversité ? Des exemples des effets attendus du changement climatique sur le déplacement et les risques d'extinction d'espèces

Les changements climatiques anticipés pour les prochaines décennies vont modifier profondément la géographie des espaces où chaque espèce est susceptible d'exister. L'élévation des températures, en particulier aux hautes latitudes, nécessitera un déplacement des espèces vers les plus hautes latitudes : ceci pourrait entraîner, en fonction notamment de la plus ou moins grande capacité des espèces à migrer, des extinctions. Des modèles de niche couplant écologie et climat peuvent par exemple permettre d'évaluer la gamme de réponse possible d'une espèce comme le hêtre en Europe face aux changements climatiques à l'horizon 2100, en comparant ses aires de distribution présente et future (Figure ci-dessous). Ces modèles intègrent mal les effets de la plasticité phénotypique, des évolutions génétiques ou des changements de communautés sur ces dynamiques. Les conséquences, environnementales et socio-économiques de tels changements peuvent être très fortes pour une telle espèce, qui constitue un élément majeur des systèmes forestiers, et pour les filières sylvicoles qui l'exploitent.

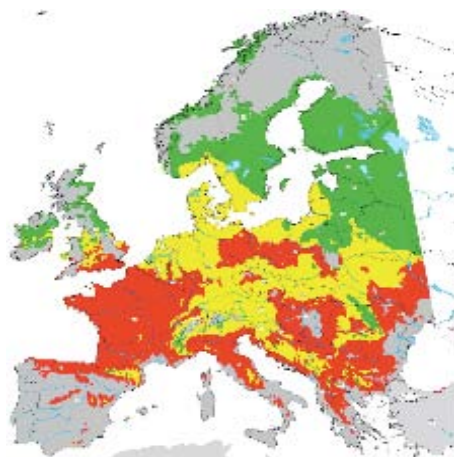


Figure 9.1. Modification de l'aire de distribution potentielle du hêtre en Europe face aux changements climatiques prédits à l'horizon 2100. Figurent en rouge les régions actuellement occupées par le hêtre devenant inadéquates, en jaune les régions restant adéquates et en vert les régions devenant adéquates (Courtesy of W. Thuiller, d'après Thuiller et al. 2005).

Le déplacement attendu des espèces vers les plus hautes latitudes s'accompagne d'une réduction générale des aires de distribution, ce qui augmente les risques d'extinctions. En appliquant la modélisation de niche à de nombreuses espèces, Thomas et al. (2004) infèrent que 20 à 40 % des espèces pourraient ainsi disparaître, avec une influence majeure de l'intensité du réchauffement climatique et des capacités de déplacement des espèces (Figure 3). Ces risques sont plus élevés si les espèces peuvent difficilement se déplacer à cause de l'hostilité des milieux.

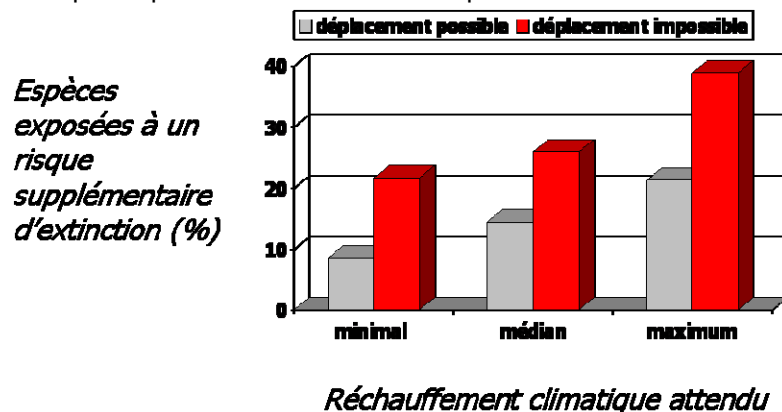


Figure 9.2. Augmentation des risques d'extinctions d'espèces en 2050 selon l'intensité du réchauffement et la possibilité pour les espèces de se déplacer (en gris) ou pas (en rouge). (d'après Thomas et al. 2004)

Confirmant cette hypothèse de risques d'extinction accru pour les espèces dont l'aire de distribution devrait se réduire, on constate, sur l'ensemble de l'avifaune européenne, que les espèces dont l'aire de distribution devrait se réduire (75 %) montrent un déclin important depuis 1980, alors que celles dont l'aire devrait grandir (25 %) sont stables, la différence de dynamique entre ces deux groupes d'espèces étant corrélée à l'intensité du réchauffement, plus importante durant la dernière décennie (Gregory et al. 2009). En ce qui concerne les oiseaux de France, si les aires de distribution des oiseaux communs se sont déplacées vers le nord de 100 km en 20 ans, ce n'est que la moitié de ce qui était attendu en réponse au réchauffement constaté, confirmant l'hypothèse de difficultés de déplacements (Devictor et al. 2008).

Le modèle simple de Thomas demande à être complété ; échelle de temps des extinctions et rôle d'autres facteurs tels que l'occupation des sols sont en effet à considérer. Ce travail montre néanmoins bien les enjeux autour de la modélisation de scénarios, les résultats et les difficultés afférents, ainsi que les prolongements nécessaires (notamment conséquences pour les services écosystémiques associées aux difficultés de déplacements).

La situation est encore plus préoccupante pour les coraux. La combinaison des modèles environnementaux avec les connaissances des tolérances des coraux au réchauffement et à l'acidification indique une très forte dégradation des récifs à l'échelle planétaire d'ici 2050 (Fig 9.3).

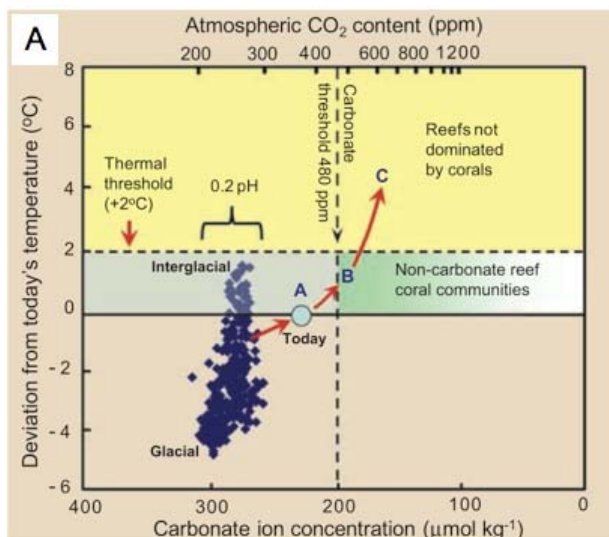
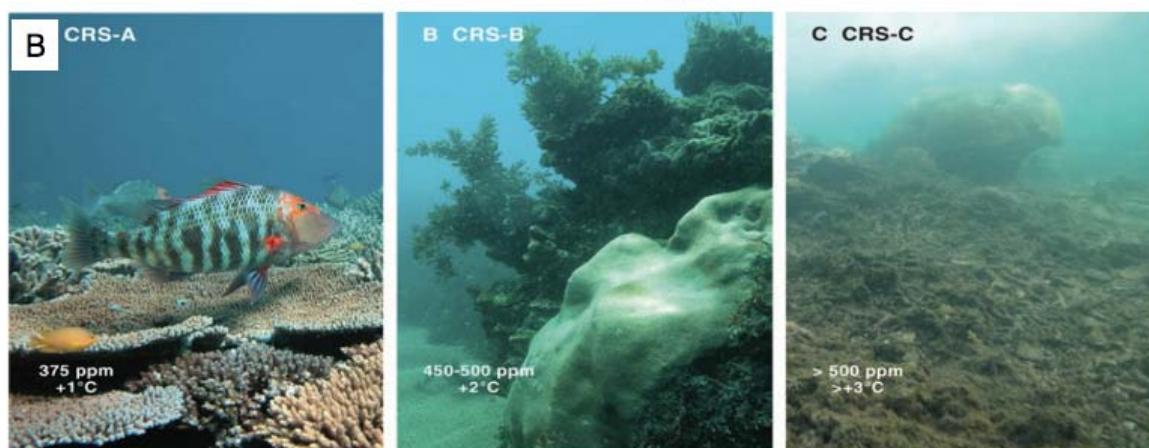


Fig 3. A) Les effets de l'augmentation de la température et du CO₂ atmosphérique sur les coraux. Les points en bleu indiquent l'état des océans depuis 420 000 ans, les flèches rouges indiquent l'état actuel et futur, le point "A" est l'état actuel, le point "B" est l'état prévu pour c. 2050 et le point "C" est l'état prévu pour la fin du siècle par le IPCC (2007). Le réchauffement provoque un blanchissement des coraux, l'augmentation de la teneur en CO₂ atmosphérique provoque une acidification des océans empêchant la construction des exosquelettes dure des coraux. Les lignes en pointillés indiquent les seuils au-delà les récifs seront fortement dégradés. B) Les photos des récifs actuels dans divers états de dégradation. Ces photos correspondent à des états de dégradation prévus pour les points "A", "B" et "C" ci-dessus. (d'après Hoegh-Guldberg et al. 2008)



Mieux intégrer la biodiversité dans les activités humaines et soutenir les innovations

« *Va prendre tes leçons dans la nature, c'est là qu'est notre avenir !* »

Léonard de Vinci

Même si une « 6^{ème} extinction » est aujourd'hui en cours, la dégradation actuelle de la biodiversité n'est pas inéluctable, mais en partie maîtrisable voire pilotable. Ainsi, la « crise écologique » actuelle a ceci de bénéfique qu'elle peut nous conduire à repenser et améliorer les modes d'organisation de nos sociétés vis-à-vis de la Nature.

La prise en compte de la biodiversité n'est pas actuellement suffisante dans la conduite des activités humaines, quelles soient économiques ou autres. Le décalage est aujourd'hui manifeste entre d'une part les alertes lancées par certains scientifiques à propos des atteintes portées à la vie sur Terre et ses conséquences pour l'Humanité (6^{ème} extinction, MA, TEEB, etc.), les objectifs annoncés par les différentes politiques sur la biodiversité (par ex. la communication de la Commission Union Européenne en 2006 « *Enrayer la diminution de la biodiversité à l'horizon 2010* ») et d'autre part l'intégration effective de la biodiversité dans les activités humaines. La préservation de la biodiversité ne se réduit pas à des mesures de protection de certains espaces ou espèces parmi les plus menacées ou les plus emblématiques, mais implique aussi d'intégrer la biodiversité, dans toutes ses dimensions (spécifique, génétique, fonctionnelle, mais aussi humaines, d'ordre économique ou morales) comme l'une des valeurs à prendre en compte dans la conduite de l'ensemble de nos activités.

En effet, le concept de développement durable, pour imparfait et critiquable qu'il puisse être, traduit l'exigence de penser les besoins et aspirations humaines, des générations actuelles et futures, en étroite imbrication avec la préservation de la biodiversité, des ressources naturelles et des services écosystémiques.

La communauté scientifique porte une grande responsabilité dans l'éclairage et l'appui qu'elle peut fournir à la société civile et aux politiques dans leurs processus de décision face à de tels défis. Non seulement, la biodiversité est une question scientifique très complexe, mais elle est fortement imbriquée avec les activités humaines dans une relation de dépendance mutuelle. L'état de la biodiversité et sa dynamique dépendent des activités humaines et les sociétés humaines, qui « exploitent » à leur profit les ressources de la nature et doivent adapter leur mode de gestion de ces ressources à l'état de dégradation de ces dernières. **Le degré d'atteinte à la biodiversité et aux services écosystémiques oblige aujourd'hui à repenser l'intégration de la biodiversité dans ces activités et à renouveler et amplifier les connaissances pour éclairer les processus de décision.** Aux échelles tant globale que locales, la biodiversité doit être considérée dans ses rapports avec les enjeux majeurs que sont par exemple la réduction de la pauvreté, la sécurité alimentaire et l'approvisionnement en eau potable, la croissance économique et le développement culturel, les conflits liés à l'utilisation et à l'appropriation des ressources naturelles, la santé humaine, animale et végétale, l'énergie et l'évolution du climat. Cette vision implique de lier biodiversité et bien-être

humain dans l'esprit de la réalisation des Objectifs du Millénaire pour le Développement.

Bien entendu les sciences qui interviennent dans le champ de la biodiversité ne doivent pas être vues uniquement comme la source d'applications concrètes pour le présent et l'avenir de la Société, mais certains aspects ont trop longtemps été ignorés ou mis de côté pour ne pas mériter un effort significatif et d'ampleur nouveau. Si pendant longtemps, la mise en avant de la primauté de la conservation de la biodiversité a pu sembler opposer biodiversité et activités économiques, l'évolution de la pensée scientifique met aujourd'hui en avant non seulement l'impératif de préservation des services écosystémiques, mais aussi celui de gestion de la biodiversité dans une vision profondément renouvelée : **Considérée comme le support majeur d'une nouvelle économie, une source de nouvelles technologies et un objet de gouvernance, la biodiversité nous conduit ainsi à repenser notre rapport à la nature.**

A- ENJEUX ET QUESTIONNEMENTS

Une meilleure intégration des exigences de préservation de la biodiversité dans les activités humaines présente deux enjeux majeurs, d'où découlent des questionnements auxquels la recherche, la société civile et les décideurs devront répondre :

- L'interdépendance étroite entre les activités humaines et la biodiversité implique que **des changements, voire des ruptures, sociaux, politiques et économiques profonds, seront nécessaires pour mieux intégrer la biodiversité dans les activités humaines.** Pour être anticipés et réussis, ces changements et ruptures impliquent qu'une stratégie de gestion durable de la biodiversité soit « co-construite » entre les sciences du vivant, les sciences humaines et sociales mais aussi le politique et la société civile. Ce faisant, ce sont non seulement les cadres et modalités de gouvernance et de régulation des activités humaines qui doivent être interrogés, mais au-delà notre relation même à la biodiversité.
- Mieux intégrer la biodiversité dans les activités humaines implique de se donner les moyens d'évaluer les impacts des activités humaines sur la biodiversité, mais aussi et surtout de développer les synergies existantes et potentielles entre les activités humaines et la biodiversité et faire de la biodiversité le moteur d'innovations technologiques.

A-1/ (Re)construire notre relation à la biodiversité

La biodiversité n'est pas un objet scientifique « pur » ; ses dimensions fondamentales non seulement biologiques mais aussi humaines (culturelles, économiques, sociales, etc.) en font un objet co-construit entre les sciences du vivant et les sciences humaines et sociales, mais aussi le champ politique et la société civile.

La biodiversité : un objet de valeurs. Les différentes représentations et valeurs (intrinsèque, instrumentales, morales, économiques) attachées à la biodiversité sont des facteurs déterminants de sa prise en compte dans les activités

humaines publiques et privées (voir chapitre « Valeurs »). Mais si la préservation de la biodiversité ne saurait être coupée des différentes représentations sociales qu'elle génère, en retour la pensée du monde qui nous entoure est profondément bouleversée par l'avancée des connaissances en sciences du vivant, comme en témoignent les travaux récents en éthique environnementale. **Il s'agit aujourd'hui de chercher à concilier la rationalité instrumentale de la gestion des ressources naturelles à la dimension morale de notre rapport à la nature.**

La définition même des objectifs de préservation de la biodiversité implique alors des **modes de communication et de collaboration renouvelés** entre la communauté scientifique, les acteurs de la société civile, économiques et non économiques, et les décideurs politiques. Sur quelles bases et dans quels cadres penser ces nouveaux modes de communication et de collaboration ? Quels cadres conceptuels et normatifs doit-on élaborer pour rendre compte des exigences d'une « justice environnementale » assurant le partage équitable des bénéfices et des risques écologiques ? Comment concilier les dimensions spatiales et temporelles d'un développement durable ? Comment articuler bien-être des populations locales et préservation des écosystèmes, les besoins et aspirations des générations actuelles avec ceux des générations futures ?

Mettre la biodiversité au cœur des cadres de gouvernance et de régulation. Si la biodiversité est avant tout un bien qui transcende les frontières, au propre comme au figuré, elle est dans la pratique une « chose publique » relevant de la souveraineté et de la compétence des Etats. Elle est également le centre d'intérêts collectifs, locaux et régionaux, d'entités comme les populations autochtones et les communautés locales, les ONG, mais aussi individuels dans la mesure où elle participe au droit à la dignité de la personne humaine. Par ailleurs, la biodiversité investit la sphère des échanges marchands : la question environnementale devient une source de contentieux à l'OMC, une composante de la vie des entreprises, voire un facteur de compétitivité (identification des produits et services écologiques et éthiques, bilan social et environnemental des sociétés cotées, réforme des conditions d'attribution des marchés publics, marchés des quotas d'émission, etc.). Cette imbrication des sphères publiques/privées, gouvernementales et civiles, se traduit par le **besoin de nouveaux encadrements normatifs et de nouvelles formes de gouvernance et de régulation, qui interroge les différents champs disciplinaires.**

Comment développer des démarches intégrées qui semblent nécessaires à la biodiversité, alors même que les processus décisionnels et les corpus normatifs sont souvent cloisonnés quels que soient les niveaux décisionnels (international, régional, national ou local) ? Par exemple, comment mieux coordonner les politiques de protection de la biodiversité avec celles relatives à l'urbanisme, à l'aménagement des territoires, à l'agriculture, à la libre concurrence ?

La recherche en biodiversité conduit à interroger les institutions, les procédures et outils de régulation des activités humaines. Comment mieux représenter les différents intérêts et valeurs attachés à la biodiversité ? Comment encadrer et réguler les marchés de la biodiversité, les opérations de compensation ?

Mieux intégrer la biodiversité dans les activités humaines pose également la question du risque acceptable. Quelles procédures d'évaluation démocratiques et transparentes ? Quelles grilles d'évaluation ? Quels systèmes d'alerte ? Comment

déterminer des critères d'acceptabilité des risques qui rendent compte de l'ensemble des valeurs attribuées à la biodiversité ?

A-2/ Des activités durables et en synergie avec la biodiversité

Les services écosystémiques résultent des interactions entre organismes qui façonnent les milieux et leur fonctionnement au sein des écosystèmes. La purification de l'air ou de l'eau, le stockage du carbone, le maintien de la fertilité des sols sont autant de services résultant non d'organismes indépendants, mais d'interactions : à chaque type d'écosystème (forêts, zones humides, prairies, estuaires, récifs coralliens,...), sont associées des fonctions et des services différents, eux-mêmes dépendant de la santé de l'écosystème, des pressions qui s'exercent sur lui, mais également de l'usage qu'en font les sociétés dans un contexte biogéographique et géo-économique donné. La biodiversité fournit la base d'un grand nombre de biens et services qui soutiennent la vie humaine et de nombreuses activités économiques ainsi que de nombreux emplois. L'effondrement des pêcheries maritimes, la perte de diversités des variétés cultivées ou des races élevées, l'impact de l'acidification des océans, la baisse de la pollinisation et les risques sanitaires engendrés par des dégradations profondes de la biodiversité et des écosystèmes sont quelques exemples bien documentés maintenant qui illustrent leurs impacts majeurs sur les économies, la santé et les conditions de vie de centaines millions de personnes. Les récentes évaluations économiques, bien qu'appelées à évoluer, sont lourdes de sens. **La dégradation des services écosystémiques pourrait représenter une perte de 7% du PIB mondial en 2050, soit environ 14 000 milliards d'Euro par an** (Braat and ten Brink 2008. The Cost of policy inaction : the case of not meeting the 2010 target, European Commission, DG Environment).

Mieux évaluer les impacts des activités humaines sur la biodiversité, développer les synergies existantes et potentielles entre les activités humaines et la biodiversité et faire de la biodiversité le moteur d'innovations technologiques sont des enjeux auxquels la recherche doit contribuer à répondre.

L'évaluation précise des impacts des activités humaines doit permettre de diminuer les incertitudes et éclairer les processus de décisions publiques et privées. Comment faire de la biodiversité un critère d'évaluation des politiques publiques, des activités économiques, des choix d'aménagement et de consommation ? Comment définir et inclure les indicateurs pertinents permettant de prendre en compte les dimensions écologiques, sociales et économiques de la biodiversité ?

Développer les synergies. La biodiversité est considérée comme un pilier essentiel du développement durable. De nombreuses activités humaines, dépendantes ou non de la biodiversité, ont une incidence négative directe ou indirecte sur celle-ci. Souvent leur durabilité est remise en cause par cette dégradation. L'utilisation durable de la biodiversité est pourtant l'un des objectifs de la Convention sur la diversité biologique, mais sa mise en œuvre concrète reste à réaliser dans bon nombre de domaines. **En finir avec certaines pratiques non écologiquement durables est raisonnablement la seule solution pour préserver à terme des activités économiques et sociales qui utilisent ou dépendent largement de la biodiversité.**

Faire de la biodiversité un moteur d'innovations
Biotechnologie et biodiversité

La recherche-développement s'est toujours fortement inspirée des formes et des propriétés des systèmes biologiques, que ce soit au niveau moléculaire ou des écosystèmes notamment. De nombreuses avancées technologiques ont ainsi été réalisées (de l'observation de l'aile des oiseaux au début de l'aéronautique aux marqueurs fluorescents, peintures extérieures autonettoyantes, design de locomotives pour une meilleure pénétration dans l'air, pale d'éolienne inspirée des tubercules présents sur le dos des baleines à bosse et des rorquals, ...). La diversité biologique est à l'origine d'une grande diversité de molécules, dont l'inventaire est loin d'être achevé. Elles ont été produites et sélectionnées au cours de l'évolution, en général parce qu'elles étaient essentielles (métabolites dits primaires) ou qu'elles apportaient un avantage (métabolites dits secondaires) aux organismes qui les produisaient. Ces métabolites secondaires, les substances naturelles⁶, dont plus de 200 000 structures sont actuellement décrites, sont une ressource permanente pour les biotechnologies (pharmacie, agrochimie, cosmétique,...). Elles ont été traditionnellement la source la plus efficace pour la découverte des médicaments et sont toujours à l'origine soit de molécules actives, soit de modèles pour la conception de nouveaux agents thérapeutiques ou de matériaux. Ainsi, encore aujourd'hui, plus de 60% des médicaments sont soit des substances naturelles, soit des dérivés ou analogues, soit des molécules synthétisées sur le modèle de substances naturelles.

La chimie de substances naturelles est également liée à l'écologie chimique (encart 6). Les connaissances fondamentales issues des recherches en écologie chimique peuvent alimenter le domaine de la chimie des substances naturelles et fournir de nouvelles molécules à la médecine, l'agriculture et l'industrie.

La nécessité et l'intérêt d'identifier au sein de la biodiversité, de nouvelles molécules est encore renforcée par le règlement européen n° 1907/2006, dit *Reach*, qui accroît sensiblement les contraintes pesant sur les industries chimiques. Ces dispositions récentes reposent sur le principe de précaution. Toute molécule naturelle ou « bioinspirée » n'est pas forcément inoffensive, mais peut être plus facilement biodégradable qu'une molécule issue de la chimie de synthèse. Contraints par cette nouvelle réglementation, les industriels s'intéressent de plus en plus à la biodiversité en espérant y découvrir les molécules de l'avenir.

B - SITUATION FRANÇAISE ET INTERNATIONALE

Intégration biodiversité-activités humaines

En 2005, le Millennium Ecosystem Assessment a ouvert une nouvelle voie avec la reconnaissance des services écosystémiques et a montré à quel point sont imbriqués l'avenir des sociétés humaines et celui des écosystèmes. Mais il a aussi, et peut-être surtout, prouvé combien la biodiversité nécessite d'effort scientifique et de synthèse des connaissances pour produire des messages clairs pour les opinions publiques et les décideurs. Ces efforts vont se poursuivre et s'amplifier à différents

⁶ Le terme « substance naturelle » doit être pris au sens large, incluant outre les métabolites secondaires de faibles masses moléculaires (alcaloïdes, terpénoïdes, polyphénols...), les substances de plus hautes masses comme les peptides, les protéines, les acides nucléiques, les polysaccharides..., ainsi que les biomatériaux importants pour la chirurgie réparatrice et les traitements cutanés par exemple.

niveaux, de l'échelle la plus globale avec des initiatives variées (GBIF, GEOBON, IPBES, ...), aux plus locales (stratégie des départements et régions sur la biodiversité, Agendas 21 locaux,...), en passant par des programmes d'échelles intermédiaires (MA nationaux, LifeWatch, ...). La recherche française dans le domaine des sciences de la biodiversité est en bonne position pour contribuer au développement actuel et à venir de ces champs de recherche. Du fait de sa richesse actuelle en biodiversité, la France possède une connaissance de premier plan et des sources d'informations nouvelles inestimables. Le besoin d'intégration de la biodiversité aux activités économiques n'est plus à prouver, mais maintenant il suscite une demande croissante pour laquelle la connaissance n'est pas toujours disponible et surtout n'est pas souvent organisée pour éclairer les décisions. De plus en plus d'initiatives ou d'outils se positionnent à ce niveau d'interface entre science et politique, entre connaissance et décision, mais il n'existe pas ici de méthodes standardisées ou de modèles génériques particulièrement performants. Seule une action d'envergure sur l'ensemble des composantes proposées dans la présente stratégie permettra d'avancer significativement dans cette direction.

Des réponses politiques, économiques et juridiques encore insuffisantes pour arrêter la perte de biodiversité

Les réponses politiques apportées en France face à la dégradation de la biodiversité utilisent une large gamme d'outils aux finalités variées pouvant contribuer de manière plus ou moins directe à sa protection : réglementation, contrats, maîtrise foncière, fiscalité... Face à l'ampleur des pressions exercées par les activités humaines, l'ensemble de ces dispositifs ne semble toutefois pas être en mesure d'atteindre l'objectif « d'arrêter la perte de biodiversité d'ici 2010 ».

La Stratégie Nationale pour la Biodiversité mise en place en 2004, en conformité avec les engagements pris par la France au titre de la Convention sur la diversité biologique, ambitionne, notamment à travers ses différents plans d'action, d'aborder la conservation de la biodiversité de façon beaucoup plus intégrée, en agissant au niveau des politiques sectorielles. De nouvelles approches basées sur l'évaluation économique de la biodiversité complètent les instruments en place, mais leur efficacité reste à démontrer et leur mise en œuvre à étudier. Elles visent à aider à orienter la prise de décision pour la planification de l'usage des sols, en mettant en évidence la valeur de la biodiversité dans une perspective à long terme, face à des intérêts économiques souvent calculés à plus court terme. De même qu'une fiscalité appropriée peut agir positivement sur la biodiversité, des subventions et incitations « perverses » émanant de certaines politiques ou pratiques peuvent s'avérer très préjudiciables à la biodiversité, parce qu'elles ne prennent pas en compte les externalités environnementales. En conséquence, il s'agit de **repenser à la fois de manière plus globale et plus approfondie les « outils », conceptuels et normatifs de gestion de la biodiversité**. Les recherches qui sont nécessaires en sciences humaines et sociales (des sciences politique, économique, juridique, démographique aux sciences géographique, historique, sociologique et anthropologique) notamment gagneraient à une interdisciplinarité accrue avec les sciences du vivant, afin de **mieux concilier les dimensions écologiques et humaines de la biodiversité dans les instruments même de sa gestion**.

Vers une biotechnologie plus écosystémique

En une quinzaine d'années, la chimie verte ou chimie durable a connu un développement considérable à un niveau mondial et dans la plupart des domaines

de recherche. Un des principes de la chimie verte est par exemple l'utilisation préférentielle de procédés catalytiques plutôt que des procédés stœchiométriques ; ceci conduit à identifier de nouveaux catalyseurs enzymatiques ou microbiologiques. Ici encore, **la biodiversité offre un réservoir potentiel et encore très peu exploré, pour découvrir de nouvelles activités enzymatiques**. Exploiter la biodiversité ne signifie pas épuiser ou piller la ressource et lorsque de nouvelles enzymes (ou leurs gènes) sont identifiés, il est tout à fait envisageable de les produire dans des systèmes différents (levures, E. coli) et en fermenteurs. Les développements récents des technologies de séquençage et la diminution des coûts de ces technologies permet d'avoir désormais accès aux génomes de nombreuses espèces et donc d'explorer la diversité de ces génomes. Il est très probable que ces génomes renferment des gènes de fonction encore inconnus et spécifiant des activités enzymatiques nouvelles (exemple des génomes des organismes vivant dans des environnements extrêmes : température, pression, radiations, concentration en métaux lourds). Ces nouveaux outils permettent d'explorer le fonctionnement des écosystèmes et de fournir à terme les éléments de diagnostic ou d'ingénierie écologique à des échelles nouvelles.

Risques sur la biodiversité liés aux nouvelles technologies et à leur développement

Les innovations technologiques appliquées à l'agriculture, l'aquaculture ou la pêche ont conduit ou peuvent conduire à des modifications profondes des communautés et des écosystèmes. Le clonage reproductif ou le recours à la transgénèse chez les plantes ou les animaux d'élevage soulèvent de nombreuses questions en termes de risques liés à l'utilisation de ces techniques encourus pour les consommateurs ou l'environnement, et de considérations éthiques.

L'impact des flux géniques entre formes domestiquées et formes sauvages n'est pas une préoccupation restreinte aux organismes génétiquement modifiés, mais concerne un grand nombre d'espèces et les écosystèmes dont elles font partie. C'est particulièrement le cas pour les espèces pour lesquelles formes sauvages et domestiquées co-existent et sont donc souvent amenées à échanger des gènes, comme par exemple en aquaculture (projet européen « Genimpact » : <http://genimpact.imr.no/>).

La réflexion sur les risques environnementaux des nanotechnologies et un développement responsable de ces technologies n'est pas nouvelle et est traitée depuis le début des années 2000, en collaboration entre par des équipes de recherche nord-américaines et françaises (Rice University / CEREGE Aix). Des approches plus centrées sur la biotransformation des nanoparticules et leurs possibles perturbations au sein de la chaîne trophique et sur les interactions entre les espèces vivantes (toxicité au niveau génétique, cellulaire, organisme) sont actuellement mises en œuvre et sont concrétisées via par exemple un projet ANR sur l'impact environnemental des résidus de dégradation des nanomatériaux (RDNs) commercialisés et la mise en place du Center for Environmental Implications of NanoTechnology (CEINT) à la Duke University (NC). La recherche doit contribuer à une meilleure connaissance des risques et surtout au développement de la dimension éthique, à travers les comités d'éthique existants sur les biotechnologies (européens, français) et des programmes de recherche interdisciplinaires. Il est important de souligner qu'**en matière de biotechnologies des frontières fondamentales telles que humain/non humain, vivant/non vivant sont bouleversées** et que les questions liées aux biotechnologies ne se réduisent donc

pas à une « gestion des risques » qu'elles peuvent engendrer, mais débouchent sur des questions de choix de société que la recherche peut contribuer à éclairer.

C - VEROUS ET OPPORTUNITES

Un manque de bases scientifiques pour l'ingénierie écologique et pour mieux utiliser la biodiversité comme source d'innovations

Alors qu'aujourd'hui se développent un nombre croissant d'actions de restauration d'écosystèmes, parfois dans le contexte du développement d'un marché de la compensation écologique, de manipulation de communautés biologiques, et plus généralement d'ingénierie écologique, force est de constater le manque de bases scientifiques pour guider ces actions. Un enjeu majeur pour la communauté scientifique est donc de promouvoir des recherches qui viendront renforcer les connaissances nécessaires à l'accompagnement de ces actions.

Une trop faible organisation de la communauté scientifique vis à vis des besoins d'expertise

Acteurs de terrain comme décideurs acceptent de plus en plus le fait que les connaissances scientifiques actuelles sont à la fois indispensables et souvent insuffisantes par exemple pour favoriser des activités agricoles ou industrielles durables, ou pour définir des seuils d'alerte en termes d'impacts des pêcheries sur les stocks de poissons, de disparition de populations ou de races locales, ou d'arrivée d'espèces envahissantes. Un besoin accru existe donc pour que l'expertise scientifique, tant nationale qu'internationale, soit utilisée au mieux dans ce contexte ; et que l'expertise nationale soit mobilisée en lien avec l'expertise internationale. Ce **besoin d'éléments de connaissance et de compréhension à destination des décideurs et de la société civile** se traduit notamment par une volonté de créer une interface inter-gouvernementale science/politique pour la biodiversité (IPBES). La communauté scientifique française doit s'organiser pour répondre à ce défi de mobilisation de l'expertise en biodiversité, en s'inspirant de la façon dont la communauté des sciences du climat a relevé un tel défi.

Une interdisciplinarité à développer

L'investissement des SHS dans les recherches sur la biodiversité est encore beaucoup trop faible. La nouvelle stratégie de recherche sur la biodiversité gagnerait à mieux intégrer les SHS, dont le droit et l'éthique environnementale dès « l'amont », c'est-à-dire à mobiliser la communauté scientifique des SHS dans la construction même des concepts relatifs à la biodiversité. A défaut, le risque serait que ces disciplines ne participent pas à la construction et à l'évolution des concepts et méthodes de caractérisation et d'évaluation de la biodiversité, rendant ainsi plus difficile l'interdisciplinarité dans les recherches relatives aux relations société/biodiversité, aux valeurs et à l'évaluation des impacts des activités humaines. En outre, face aux enjeux de la gestion de la biodiversité, la France accuse encore un retard dans le domaine de l'éthique environnementale, en termes de formations et de programmes de recherche interdisciplinaire. Les sciences économiques sont aussi de plus en plus sollicitées dans les débats, les choix et les prospectives.

Cette situation est peut-être liée à une vision trop longtemps déconnectée de la biodiversité avec les activités économiques, une biodiversité ignorée par les politiques et vécue parfois comme une contrainte pour certains secteurs économiques, mais aussi déconnectée de ses dimensions humaines et sociales.

Un système de financement et d'évaluation de la recherche mal adapté à la demande sociale

Il existe une demande sociale forte pour impliquer les sciences de la biodiversité dans l'accompagnement des décisions, ce qui sous-tend une recherche appliquée voire impliquée. Ce besoin de recherche opérationnelle n'est pas toujours pris en compte à son juste niveau par le système d'évaluation de la recherche, de même que les travaux interdisciplinaires. La valorisation des activités de transfert sur le terrain nécessite un travail en amont de la recherche par la construction de liens, de réseaux, de montage de projets avec des organismes locaux (Parcs nationaux et régionaux, organismes consulaires, administrations et collectivités locales, ONG, entreprises et organisations professionnelles,...) encore trop rarement considérés comme une composante importante de la recherche. L'établissement de tels partenariats est souvent vu comme une certaine forme d'aliénation par certains chercheurs. Cet aspect va de pair avec un manque de valorisation de l'expertise dans les organismes de recherche. Aux yeux de certains chercheurs, l'expertise et le transfert nécessitent trop de temps par rapport aux bénéfices à en tirer en terme de « facteur d'impact » ou de déroulement de carrière, alors que le chercheur reste le plus souvent un élément clé du transfert.

Les sciences de la biodiversité sont semble-t-il mûres pour favoriser la coopération plutôt que la compétition, pour imaginer des dispositifs facilitant l'accumulation des données au-delà des équipes de recherche ou des organismes et pour s'investir dans des processus de décisions, à condition d'être soutenues et sécurisées dans cette démarche.

La nécessité du partenariat recherche-entreprise

Un autre aspect primordial du domaine de la biodiversité est la collaboration entre recherche publique et secteur privé. Pendant longtemps, et c'est encore le cas parfois, les entreprises ont été suspectées de vouloir « verdir » leurs actions en s'intéressant à la biodiversité. Certaines prennent conscience de leur dépendance réelle vis-à-vis de la biodiversité et des services écosystémiques et s'investissent dans des réflexions approfondies pour repenser leurs stratégies, leurs procédés, voire leur comptabilité. Au minimum, les entreprises intègrent dans leur fonctionnement les contraintes nouvelles (réglementaires type REACH, mise en place de régimes de responsabilité environnementale, principe pollueur-payeur, principe de précaution, etc...), aidées en cela par les politiques incitatives (fiscalité, labels, dérogation au droit de la concurrence dans le domaine de l'environnement pour les aides publiques par exemple). Si les opportunités de partenariat entre recherche publique et entreprises sont multiples (échanges de données, partages d'expériences, dispositifs d'observation partagés, transfert de technologies, test d'ingénierie écologique, etc.), il convient d'assurer un partage des coûts et des bénéfices (par ex. brevets) équitable entre recherche publique et entreprises. Dans cette perspective, la question des droits de propriétés intellectuelles, celle du statut des données, de leur appropriation, les problèmes d'accès à l'information, mais aussi

parfois celle de la valeur des données collectées devront faire l'objet d'une attention particulière.

Comme on le voit, l'ensemble des lacunes et verrous identifiés ci-dessus appellent à repenser les interfaces entre les acteurs de la recherche en biodiversité : interfaces chercheurs/praticiens, science/société, public/privé...

D- PROPOSITIONS D' ACTIONS, D' OUTILS ET DE MOYENS

Plusieurs types d'actions devraient être entreprises et soutenues dans le cadre de la stratégie nationale de recherche et innovation en biodiversité. Tout d'abord, il existe un besoin fort et urgent d'approfondir la conception, l'élaboration et la mise en œuvre de méthodes, de procédures et d'évaluations pour mieux intégrer la biodiversité dans les activités humaines. Sur la base des verrous identifiés, ces actions doivent bénéficier d'un soutien et d'un encadrement de la recherche bien plus ambitieux que jamais et à la mesure des enjeux et des opportunités.

Action 1 - Intégrer les connaissances et développer les interfaces entre acteurs de la biodiversité

Développer la plateforme française science/société en biodiversité dans le cadre du futur IPBES

Mieux intégrer la biodiversité aux activités humaines nécessite encore des développements scientifiques considérables. Le développement des connaissances ne suffit pas pour prétendre construire un pont entre la recherche et les processus de décision. La mobilisation des communautés scientifiques et de décideurs est essentielle pour relever le défi de la complexité du domaine. Expertise internationale, objectivation des connaissances et perspectives en termes de certitudes, de probabilités et de risques, ont permis au changement climatique de rentrer dans les préoccupations des décideurs. Le même type de préoccupations et d'attentes a été formulé pour la biodiversité récemment et pourrait aboutir à la **création d'une plateforme intergouvernementale science-politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES)**(voir encart 10). La France a fortement soutenu cette initiative en initiant la consultation IMoSEB. Cette plateforme IPBES est en cours d'élaboration sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Déclinée à des échelons nationaux ou régionaux, elle aurait comme double objectif :

- d'identifier et de préciser les différents types de besoins et demandes en terme d'expertise scientifique ;
- d'établir les procédures et moyens pour y répondre (mise à disposition de l'information, évaluations thématiques et géographiques).

La création de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité répond bien au besoin de mise en place d'une plateforme française science-société sur la biodiversité et les services écosystémiques; une telle plateforme permettra à la fois de faciliter l'alimentation de la plateforme internationale IPBES et d'instaurer de véritables processus de dialogue entre les différentes parties prenantes de la biodiversité d'encourager et soutenir des actions ou programmes visant à une

meilleure intégration de la question biodiversité dans les politiques publiques et les stratégies d'entreprises.

Certaines demandes déjà exprimées (notamment lors de la consultation IMoSEB avec des représentants d'entreprises privées et dans les consultations régionales), ou formulées récemment dans le cadre du Conseil d'Orientation Stratégique de la FRB, permettent d'identifier les attentes et besoins majeurs au niveau des porteurs d'enjeux. Ces attentes portent notamment sur le recensement des savoirs et des acteurs, la quantification et la qualification des enjeux de biodiversité, les modalités d'expertises crédibilisées, le développement méthodologique de solutions techniques pour éviter des menaces ou saisir des opportunités en matière de biodiversité, et enfin l'évaluation de l'efficacité des solutions. Des questions du même ordre se posent dans le domaine des politiques publiques, avec la mise en œuvre des stratégies nationale, régionales ou plus locales de la biodiversité et du Grenelle de l'environnement.

Le rôle de la FRB en tant que maille Française d'un IPBES serait de mieux identifier et mobiliser l'expertise, et de favoriser la diffusion des résultats de la recherche. Dans ce cadre, rendre audible l'état des connaissances et notamment les scénarios de biodiversité (voir chapitre « Modéliser ») sera une action forte.

Des outils pour des processus de décision renouvelés aux différentes échelles

Différentes questions se posent ici : Quels modes de communication sont à privilégier entre recherche scientifique et société civile/politique ? Comment rendre compte des différentes valeurs et représentations de la biodiversité dans le « pilotage » de celle-ci ? Comment mieux impliquer les différents acteurs locaux dans les processus de réflexion et de décision relatifs à la biodiversité ? Quel effort d'éducation doit accompagner cet objectif ? Des outils, des méthodes et des procédures de négociations, de délibérations, d'aide ou d'accompagnement de la décision concernant la biodiversité devront être développés, testés et suivis, voire labellisés. En particulier, les objectifs sont ici de :

- Développer une capacité d'alerte et les moyens pour réunir les compétences requises en cas de crise écologique au niveau national ou international et pour fournir rapidement des réponses adéquates validées scientifiquement.
- Développer les recherches interdisciplinaires au sein des SHS sur la construction de cadres conceptuels et normatifs lisibles à toutes les échelles, en s'interrogeant sur leur pertinence et leur caractère opérationnel et en explorant davantage le champ de l'éthique environnementale. Au centre de ces recherches, ce sont les rapports de l'homme à la nature et au vivant qui sont interrogés.

Des méthodes, outils et indicateurs pour mieux évaluer les outils politiques en biodiversités et les démarches d'intégration de la biodiversité dans les activités humaines

Les objectifs majeurs sont ici de :

- Développer des outils et des **indicateurs d'évaluation des politiques** publiques sectorielles pour la protection de la biodiversité (aires protégées, trames vertes et bleues, gestion de ressources génétiques) ainsi que des

politiques des différents secteurs d'activités ayant un lien directement ou non avec la biodiversité (transport, commerce, agriculture, justice, fiscalité...);

- Proposer des outils, des méthodes et des **procédures de négociations**, de délibérations, d'aide ou d'accompagnement de la décision concernant la biodiversité ; ces outils devront être testés et suivis voire labellisés ;
- Construire des **méthodes d'évaluation de la « durabilité » écologique des activités économiques** : cadre d'analyse et d'évaluation des activités touchant directement ou indirectement la biodiversité, visant à apprécier leur durabilité dans les trois dimensions économique, sociale et écologique ; ceci est particulièrement critique pour des activités telles que la pêche ou l'agriculture. L'analyse de leurs impacts délocalisés, l'évaluation des instruments actuels de labellisation, et la création de standards et de normes sont ici des points clés ;
- Développer les **recherches interdisciplinaires en éthique environnementale** sur les valeurs attachées à la biodiversité : valeurs de la biodiversité en elle-même et valeurs de ses différentes composantes (voir chapitre « Valeurs »).
- Poursuivre la réflexion du CAS sur les **outils d'évaluation monétaire de la biodiversité**, afin de préciser les méthodes possibles et identifier leurs limites. A cet égard, le champ récemment ouvert de la responsabilité environnementale en droit français et communautaire, qui oblige à réparer en nature la nature, et parfois à compenser, offre un terrain de recherche concret qui gagnerait à être investi par des recherches interdisciplinaires, en partenariat avec les acteurs de terrains (gestionnaires d'espaces naturels, magistrats par ex.).
- Renforcer les **évaluations des coûts et opportunités, humains et financiers, des changements qu'impose une prise en compte, une préservation et une gestion durable de la biodiversité dans les activités économiques** et tester des dispositifs permettant ces évaluations.

Des dispositifs d'échanges et de capitalisation d'expériences, de formation et d'information

Il s'agit ici de :

- **Développer des formations auprès des acteurs non scientifiques**, leur permettant d'intégrer la biodiversité dans leur stratégie.
- Créer et soutenir des sites pilotes, dispositifs pérennes et plateformes démonstratives et d'échanges ouvertes le cas échéant aux chercheurs, aux enseignants, aux entreprises, aux administrations, au public...
- Favoriser les systèmes de capitalisation des données, des expériences et des informations assurant la protection, le développement et la transmission des savoirs profanes (locaux, traditionnels) et techniques (liens entre amateurs,

professionnels et chercheurs ; implication du public, des administrations, des associations et des entreprises,...).

- Organiser des opérations pilotes de restauration, de remédiation, de compensation où seraient mesurés, contrôlés et évalués les dispositifs techniques, juridiques, financiers,...
- D'une manière générale, développer des outils permettant de diffuser et synthétiser le savoir et l'expertise scientifique en termes appropriés pour le public visé.

Action 2 - La biodiversité comme moteur d'innovations et support d'activités durables

La biodiversité, support de nouvelles bio-technologies et d'activités durables

Le rapport au Parlement et au Sénat des Sénateurs Laffitte et Saunier (2007) a largement souligné que la biodiversité constitue un réservoir de biens à explorer, en tant que boîte à outils d'une quatrième révolution industrielle sur la base de la biomimétique, de la bioinspiration et de la bionique notamment.

La France dispose d'une biodiversité avec des potentialités exceptionnelles, non seulement par la richesse de la métropole, mais aussi par celle des collectivités d'Outre-Mer qui reste en grande partie à explorer. La France dispose aussi de compétences scientifiques et de Plates-Formes technologiques coordonnées (IBISA : Infrastructures en Biologie Santé et Agronomie) telles que le Génoscope qui constituent des outils essentiels pour explorer la biodiversité.

Face à ce constat, des axes de recherche qui demandent un développement peuvent s'articuler autour des idées suivantes :

- Développer les **recherches en biomimétique, bioinspiration et bionique** ;
- Développer les **recherches en écologie chimique** sur le rôle des médiateurs chimiques dans les écosystèmes (encart X, chapitre « Comprendre ») afin d'identifier au sein de la biodiversité de nouvelles cibles biologiques. Favoriser la mise en réseau des chimiothèques, des extractothèques, des plates-formes de criblage et des expertises scientifiques associées.
- Renforcer la **connaissance sur la diversité fonctionnelle des micro-organismes**, incluant les micro-organismes symbiotiques, associés ou pathogènes de macro-organismes (micro-organismes de la rhizosphère des plantes, champignons et bactéries endophytes, micro-organismes symbiotiques d'Invertébrés marins...). Soutenir les recherches visant à étudier le fonctionnement de ces micro-organismes et leurs interactions avec les autres organismes de l'écosystème afin d'identifier de nouveaux bioproduits et de nouvelles biotransformations, porteurs d'innovations (en dépollution, en production énergétique etc) dans un contexte de développement soutenable.

- Renforcer en parallèle les **recherches sur les droits, individuels ou collectifs, relatifs au vivant** : comment concilier l'innovation biotechnologique avec les différents droits attachés à la biodiversité (populations autochtones notamment) ? Quelles formes de propriété industrielle et intellectuelle sur le vivant pour garantir la préservation de la biodiversité ?

En parallèle, il est intéressant de souligner que la question de l'utilisation de la biodiversité comme moteur d'innovations était largement contingente au concept de ressources génétiques depuis que ce concept existe (Frankel 1967, voire bien avant). La question qu'il faut se poser, maintenant que le concept de ressources génétiques évolue (voir la prospective scientifique du BRG en 2007), est justement: a-t-on réussi à bien intégrer cette composante de la biodiversité dans les activités humaines ? A-t-on bien valorisé la biodiversité (intrinsèque ou ses composantes) pour les innovations ? A-t-on bien valorisé cette biodiversité pour développer des activités durables ? Pourquoi et comment ? Par ailleurs, revisiter les critères de sélection de races et de variétés dans l'optique de développer des activités durables (notion de 'nouveaux idéotypes' ici) doit être une priorité.

Les procédures d'évaluation des risques

Le champ de la biodiversité implique de développer des réflexions sur les risques associés : risques concernant les espèces exotiques envahissantes, risques toxicologiques et sanitaires, nanotechnologie...

Le plus souvent, les espèces invasives s'établissent dans des milieux naturels dégradés par les activités humaines, qui résistent difficilement aux agressions extérieures. Ces espèces contribuent en outre à l'homogénéisation des écosystèmes et à l'extinction des espèces (voir axe "Documenter" et encart 4). En dehors de certains écosystèmes particuliers (îles par exemple), l'éradication des espèces invasives est souvent impossible et les moyens de lutte les plus efficaces restent la prévention et la sensibilisation. L'étude de l'impact des espèces invasives (y compris de l'impact sanitaire quand ces espèces sont des vecteurs de maladie), sur les changements de biodiversité et sur l'altération des écosystèmes doit être menée très en amont et par des approches multidisciplinaires incluant la mise en place de plans de gestion pour limiter les nouvelles invasions (listes noires, blanches, etc), l'estimation des coûts économiques directs (dégâts aux cultures ou destruction d'essences forestières par exemple) et indirects (coûts de la surveillance, de la formation, de la lutte, etc.). Il importe également de se préoccuper de la restauration ou du maintien du bon fonctionnement des milieux anthropisés afin de limiter, voire de prévenir, leur colonisation par des espèces introduites.

Les changements de biodiversité peuvent aussi avoir des conséquences pour la santé des humains, des animaux et des plantes. L'intégration de ces changements dans l'analyse des risques sanitaires est encore trop inexistante, car elle suppose une appropriation encore trop rare de la thématique biodiversité par des acteurs institutionnels nationaux (Afssa, Afset, Invs, service de protection des végétaux ...). Cependant, cette thématique pourrait s'intégrer dans le cadre conceptuel "One Word One Health", présenté pour la première fois le 6 octobre 2008, en Égypte, à l'occasion de la sixième Conférence ministérielle internationale sur la grippe aviaire et la grippe pandémique et soutenu par les agences internationales (OMS, FAO, OIE, UNICEF, UNSIC. Nationalement, il conviendra :

- de renforcer les liens entre les agences nationales entre-elles (une santé commune) et avec les scientifiques des sciences de la biodiversité;
- de développer les approches « One Word One Health » et l'écologie de la santé.

Le domaine des nanotechnologies n'a quant à lui pas encore la portée médiatique de celui des OGM. Pour prévenir un phénomène de mésintelligence entre la recherche et la société civile à propos des conséquences environnementales, et notamment celles sur la biodiversité, il est urgent de soutenir des recherches d'ampleur dans ce domaine tout en élaborant des procédures d'évaluation et d'accompagnement des risques. En particulier, il s'agit de :

- Renforcer et développer la recherche et l'expertise de la communauté scientifique française en biodiversité sur cette thématique, notamment sur la dégradation chimique bactérienne, la toxicité au niveau génétique, au niveau cellulaire et au niveau organisme, l'irréversibilité de la présence et interactions de nanoparticules dans les milieux, la toxicité à distance et la toxicité aggravée dans certains milieux, le rôle des adjuvants nano dans les combustibles, leur diffusion, devenir et biodisponibilité, ...

De façon transverse, les questions liées aux risques associés à la biodiversité amènent à :

- Initier et développer l'implication des sciences juridiques, humaines et sociales sur ces aspects : cadres d'évaluation des risques acceptables, négociations internationales croisées, questions philosophiques et éthiques sur les frontières entre l'homme et la machine, entre l'homme et l'animal, entre l'inerte et le vivant, entre les effets souhaités de la technologie et ses effets collatéraux.
- Mettre en place des procédures d'évaluation des risques afin d'assurer une plus grande transparence et favoriser le transfert et la vulgarisation d'informations vers la société civile, proposer la mise en place de groupe de travail *ad hoc* sur ce sujet, et des modalités garantissant l'indépendance de l'expertise.

Intégration dans la vie économique : comptabilité et fiscalité

On se réfèrera tout particulièrement ici au document présenté fin avril 2009 par le Centre d'analyse stratégique « Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes » (Chevassus-au-Louis *et al.* 2009).

L'essentiel de la fiscalité actuelle dans le monde porte sur le capital manufacturier et le capital humain, à travers le travail. Certains experts (voir le Millennium ecosystem Assessment, 2005) considèrent que la crise environnementale actuelle résulte pour une grande part de ce type de régulation qui conduit à considérer que les ressources naturelles (notamment renouvelables) et les services écologiques sont gratuits. Ils considèrent nécessaire d'envisager dès à présent de remplacer la taxation du capital manufacturier et du capital humain par une taxation de toutes les consommations de ressources naturelles. Un tel basculement serait une incitation très forte à économiser ces ressources et à accroître l'emploi, dès lors qu'il ne subirait plus de fiscalité⁷. Un tel basculement, qui peut sembler irréaliste, tant

⁷ La Suède s'est engagée depuis 1988 dans l'introduction progressive de taxes écologiques en lieu et place de taxes existantes et à pression fiscale inchangée.

il devrait être mondialement discuté et coordonné, serait pourtant l'un des moyens les plus sûrs d'inciter l'activité économique dans un sens favorable au maintien de la diversité biologique et à un développement durable. Engager des travaux de recherche sur ce thème serait d'un intérêt au moins aussi grand que la démarche en cours dans le cadre du processus TEEB.

Les questions de recherches sur ce sujet sont nombreuses, on peut citer par exemple :

- Quelle taxation pour gérer la biodiversité ?
- pour quels objectifs ?

Découlent de ces deux questions les problèmes de l'assiette pour asseoir cette taxation, des taux de taxation à adopter, du type de taxation sur la valeur des pertes de biodiversité et sur les prix des éléments de biodiversité faisant l'objet d'un marché ou hors marché, des effets de cette taxation sur les ressources, sur les marchés, sur les emplois, sur le bien être... Il s'agira aussi de définir les stratégies de taxation, (prélèvements supplémentaires ou prélèvements en gardant une pression fiscale globale inchangée, voire en diminution ?) et la combinaison des systèmes de taxation avec d'autres outils d'intervention ou de régulation...

Par ailleurs, des bases scientifiques nouvelles pourraient permettre de revoir la comptabilité nationale pour une intégration de la valeur des écosystèmes.

L'élaboration des comptes intégrés économiques et environnementaux est encadrée par le Système des Nations-Unies, qui définit le cadre théorique des comptes de l'environnement (SEEA3). Les comptes environnementaux sont actuellement assez bien intégrés avec le système des comptes nationaux (SCN) et traitent principalement de questions liées aux pressions de la production et de la consommation. Dans le cadre de la révision du SEEA, prévue pour 2012, il est envisagé d'inclure des comptes d'écosystèmes afin de mesurer les impacts de ces pressions sur le fonctionnement des écosystèmes eux-mêmes et les conséquences qui en résultent pour les services qu'ils fournissent à l'économie et au bien-être humain en général. Il s'agit d'essayer de répondre à quelques questions de base liées à la durabilité de l'interaction économie-nature (Weber, 2008). Cette approche « macro » répond à un besoin de valeurs agrégées opérationnelles, tel qu'exprimé depuis quelques mois par la demande politique⁸. Enfin, l'émergence de la question des paiements internationaux des services d'écosystèmes, en agriculture par exemple (FAO, 2008), pour lesquels une comptabilité est aussi nécessaire qu'elle l'est pour les mécanismes du Protocole de Kyoto, est un défi considérable auquel la communauté scientifique doit pleinement participer.

De façon similaire, des bases scientifiques nouvelles pourraient permettre d'**intégrer la biodiversité dans la comptabilité et la stratégie des entreprises** (voir la

⁸ le « Rapport Stern » 2006, sur les coûts de l'inaction concernant le changement du climat, l'initiative de Potsdam du G8+5 (2007) pour un rapport sur les coûts de l'inaction concernant les pertes de biodiversité, sous le titre TEEB, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*, la conférence européenne "Au delà du PIB" (2007), la multiplication des initiatives pour l'évaluation et la comptabilité des écosystèmes (Green Accounting for Indian States Project, Eureka!-Europe, programmes nationaux en préparation au Royaume-Uni, en Espagne...), le programme de la Banque Mondiale de calcul de "l'épargne véritable nette" (maintenant « épargne ajustée »)...

démarche amorcée présentée dans le guide FRB-Orée 2008, « intégrer la biodiversité dans les stratégies d'entreprises »).

Action 3 - Mieux intégrer pour mieux conserver : pour un développement des sciences de la conservation

L'importance des valeurs de la biodiversité (y compris les valeurs d'option), implique en tout premier lieu la nécessité d'en limiter l'érosion. La protection des espaces et des espèces passe par une meilleure intégration des connaissances de l'état de la biodiversité, de son fonctionnement, de ses apports, des dynamiques réciproques entre diversité biologique et diversité culturelle et plus généralement des liens qu'elle peut avoir avec les sociétés humaines. Pour ce faire, il est essentiel de développer les sciences de la conservation dans leur appréciation la plus large.

La biologie de la conservation, discipline dans laquelle il est indispensable d'accroître quantitativement et qualitativement les programmes de recherches, est à bien des égards une science d'intégration. La compréhension des causes de la perte actuelle de la biodiversité, son enrayment et sa gestion durable sont la définition même de ses objectifs. Cette science récente, qui cherche à définir des principes scientifiques et à les développer du point de vue technologique afin de maintenir la biodiversité, est par essence multidisciplinaire, mêlant les différentes disciplines de l'écologie avec les sciences humaines et sociales. La biologie de la conservation intègre les données et les processus de plusieurs sciences très différentes, telles que l'écologie, la chimie, l'économie, la géologie, les mathématiques, la physique, la philosophie, l'anthropologie, le droit, la sociologie ou la gestion entre autres, ce qui explique qu'on lui préfère avec une fréquence accrue la dénomination de « sciences de la conservation ». **Ce champ disciplinaire nécessite toutefois une réflexion à la fois sur son périmètre et ses concepts**, notamment à l'échelle de la communauté scientifique française. Enfin, cette discipline est à concevoir la fois comme un champ d'étude et un champ d'action, et par-là même traduit son besoin fondamental d'intégrer les programmes de recherches fondamentales et de recherches appliquées.

Les programmes de recherche sont à développer dans toutes les disciplines qui alimentent les sciences de la conservation, mais prioritairement dans les domaines d'interdisciplinarité et de multidisciplinarité. L'objectif est d'optimiser la conception et la gestion d'aires protégées, les programmes de restauration de régions dégradées ou les programmes de renforcement de population menacées, de réintroduction d'espèces éteintes localement, ou de conservation *ex situ* des espèces les plus fragiles. Dans le champ de la conservation des ressources génétiques (races animales ou variétés de plantes menacées), des recherches sont à mener tout particulièrement sur l'articulation et la complémentarité entre gestions *ex situ* et *in situ* (voir la prospective scientifique du BRG 2007. « Les ressources génétiques à l'orée des temps nouveaux »).

La majorité des causes actuelles de perte de la biodiversité étant d'origine anthropique, protéger les espèces et les espaces en oubliant que l'homme peut, veut, ou doit les exploiter, souvent pour survivre, est voué à l'échec. Les programmes de conservation se doivent donc d'intégrer cette dimension humaine s'ils veulent avoir une chance d'aboutir. **L'importance des sciences humaines et**

sociales ne fera donc que croître dans l'avenir, ne serait-ce que parce que la conservation de la diversité biologique prend nécessairement place dans un contexte socio-politique. L'évolution du dispositif national de recherche en biodiversité doit pleinement prendre en compte cet enjeu dans les années à venir.

Action 4 – Repenser la formation en biodiversité

A l'image de ce que proposait Aldo Leopold en 1949 pour l'écologie, l'enjeu est ici de promouvoir une « éducation à la biodiversité » voire une « culture de la biodiversité », plutôt qu'une formation à la biodiversité. ceci implique de changer la substance et les processus éducatifs, mais aussi de redéfinir les objectifs de ladite éducation (voir encart 11).

ENCART 10 : LES ENJEUX DE L'IPBES, FUTURE PLATEFORME INTERGOUVERNEMENTALE SCIENCE/SOCIETE SUR LA BIODIVERSITE

L'enjeu majeur de l'IPBES (the Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) est de disposer d'une véritable interface science/société et science/décideurs pour la biodiversité, à l'instar du GIEC pour les changements climatiques. Ceci est fondamental pour établir un lien fort, coordonné et crédible entre porteurs de connaissance dans le champ de la biodiversité et utilisateurs de cette connaissance, notamment les décideurs.

Les objectifs affichés de l'IPBES sont :

- 1) rassembler et synthétiser les connaissances disponibles, et développer des réflexions et perspectives sur les besoins de connaissance, les priorités de recherche et l'organisation des communautés de recherche.
- 2) basé sur une approche en réseau et d'intelligence collective, mettre à disposition des décideurs et des acteurs demandeurs l'état des connaissances, les outils et les techniques de façon pertinente en fonction de ces cibles ; ceci inclut de fournir des éléments d'aide à la décision.
- 3) promouvoir et suivre des démarches indépendantes d'évaluation de la biodiversité dont les objectifs et la couverture spatiale et temporelle s'accorderont aux besoins et priorités exprimés par les décideurs.
- 4) faire une évaluation des bases de connaissance dans le champ de la biodiversité par des experts.

L'enjeu pour la communauté recherche en biodiversité est de taille, car il s'agit pour elle de montrer qu'elle est capable de s'organiser pour être audible par la société et fournir des éléments d'aide à la décision en assurant réactivité, pertinence, qualité et quantité de l'information fournie.

La communauté recherche française doit anticiper l'émergence de cette plateforme, qui devra se décliner aux échelles internationale, continentales (Europe notamment) et nationale. La Fondation pour la recherche sur la biodiversité FRB est d'ores et déjà identifiée par le Ministère de la recherche et par le Ministère de l'Ecologie comme une structure clé assurant déjà le rôle d'interface science/société en biodiversité, ayant une mission forte d'identification et de mobilisation de l'expertise recherche en biodiversité, et devant jouer un rôle clé de plateforme française du futur IPBES. Cette opération est une opportunité unique pour la communauté française recherche en biodiversité de démontrer à quel point les enjeux qui sont les siens sont cruciaux pour la société et l'environnement, et comment elle peut fournir des éléments tangibles utiles aux décideurs : à l'instar de ce qui s'est passé pour la communauté des sciences du climat, la façon dont la communauté relèvera le challenge des actions d'interface science/société aura des conséquences fortes sur son devenir.

pour plus d'information : www.ipbes.net

ENCART 11 : LA BIODIVERSITE : EDUQUER ET FORMER

Le diagnostic résumé dans la Stratégie nationale de recherche sur la biodiversité publiée par l'IFB en 2003 était clair :

« Dans le primaire, l'enseignement des sciences à travers lequel il est possible d'aborder l'environnement n'est pas une priorité nationale. Au total, en dépit d'opérations de grande ampleur telles la 'Main à la pâte' ou 'Preste', la politique du Ministère de l'Education Nationale en matière d'éducation à l'environnement reste à développer. Les écoles semblent mieux placées que les collèges et les lycées, les sciences de la vie et de la terre et la géographie y étant privilégiées par rapport aux autres disciplines ... A la différence de filières menant à la recherche, celle de la formation des maîtres ne comporte que peu d'enseignements d'écologie ou d'éducation à l'environnement, le plus souvent dispensés en fin de cursus ... ».

Toutefois, de sérieux efforts ont été mis en œuvre pour changer cet état de fait – et cela bien avant Johannesburg et sans doute sous l'effet, lent mais profond, de Rio 92. Il faut s'en réjouir... mais il faut désormais concrétiser pour rendre cette dynamique irréversible.

Il n'en demeure pas moins que les recommandations que faisait l'IFB en 2003 conservent leur pleine actualité. Il s'agit ici de * :

1. Renforcer l'éducation et la formation en favorisant une approche des concepts de biodiversité et développement durable dans un contexte interdisciplinaire à l'université et en valorisant la formation de spécialistes tels que les écologues, les systématiciens, les généticiens, les modélisateurs ...
2. Renforcer les transferts de connaissances scientifiques vers les systèmes éducatifs et les partenariats entre l'éducation et les médias, ONG, associations, professionnels ...
3. Eduquer les citoyens et les décideurs pour une meilleure compréhension des problèmes liés à la biodiversité et au développement durable ;
4. Organiser et renforcer les échanges et les coopérations à l'échelle locale, nationale, européenne et internationale au sein des milieux éducatifs ;
5. Mettre en œuvre des programmes de recherche ciblés sur la formation et l'éducation à l'environnement.

L'enjeu est bien celui de promouvoir une « éducation écologique » voire une « culture écologique », plutôt qu'une formation à l'écologie. C'est ce que prônait déjà Aldo Leopold en 1949 comme nous le rappelle David Orr (2004) dans son stimulant essai « Earth in Mind : on Education, Environment, and Human Prospect ». Une telle éducation écologique suppose notamment de changer la substance et les processus éducatifs, mais aussi de redéfinir les objectifs de ladite éducation.

A noter qu'il y a lieu ici d'être vigilant sur les risques d'un glissement inconscient d'une posture de chercheur et d'éducateur à une posture d'avocat : où s'arrête l'action de formation des esprits et où commence le plaidoyer en faveur de l'environnement ou de la nature ? L'emploi du mot « biodiversité » ou « écologie » n'y changeant rien.

L'impression qui se dégage des diverses consultations effectuées et des rapports et autres documents accumulés sur les questions de biodiversité et d'éducation à l'environnement et au développement durable est que **les progrès attendus tardent ... faute d'une juste reconnaissance de l'importance stratégique de ce qu'il faut bien appeler les connaissances naturalistes** – et des difficultés que rencontrent les initiatives visant à promouvoir durablement les approches interdisciplinaires.

Que l'on vise simplement la biodiversité ou plus largement les objectifs assignés au développement durable et à l'éducation pour parvenir à ce changement de vision du monde, cela passe par une re-légitimation forte des sciences de la nature, et notamment de la systématique, de la zoologie et de la botanique ainsi que de l'écologie et de l'évolution. On notera qu'actuellement dans le secondaire, si les notions d'environnement, de paysages ou encore d'évolution sont enseignées, il n'est pas réellement question de biodiversité.

L'objectif est clairement de revaloriser l'éducation à la « nature », ce qui suppose, à la fois, de donner plus d'importance aux connaissances naturalistes au sens le plus large et de sensibiliser les enseignants de l'école aux universités en passant par les filières professionnelles ou spécialisées (lycées agricoles et filières touchant à l'environnement) à cette vision écologique du monde qui apparaît nécessaire.

Quelques premières propositions concrètes paraissent se dégager :

1. Ouvrir et décloisonner les écoles et autres structures éducatives

Pour faire de l'éducation à la nature une véritable formation il est impératif de favoriser les sorties sur le terrain dans le cadre de projets visant à sensibiliser élèves et enseignants à l'inventivité dans des démarches de découverte, voire d'initiation à la recherche. Pour ce faire, il paraît judicieux de **soutenir des actions suivies, et des actions en partenariat, d'une part avec les associations ayant une vocation naturaliste, écologique ou pédagogique, d'autre part avec des professionnels de la recherche, de l'aménagement du territoire, de la conservation de la nature ou du développement.** L'idéal serait de s'appuyer sur les associatifs pour établir ces partenariats. C'est, sur un tel créneau, ce que font ou cherchent à faire (faute de moyens durables) le Comité français du MAB et la Fédération des Parcs naturels régionaux par exemple.

Dans la mesure où le Comité français du MAB est partenaire de la Fédération des PNR, et possède une expérience avérée sur la question et des liens, tant avec des équipes de chercheurs expérimentés qu'avec les équipes en charge des réserves de biosphère françaises, il serait opportun de lui assigner, en lien avec la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité, les moyens humains et financiers nécessaires pour lui permettre d'étendre à l'ensemble du territoire français, en métropole et outre-mer, sa stratégie de formation à la biodiversité et au développement durable – y compris dans ses dimensions de coopération internationale.

Enfin, dans l'esprit de ce qui est dit ci-dessus, on pourrait **favoriser l'implication de classes, comme de groupes d'étudiants, dans des programmes de recherche de terrain exigeant des prises de données répétées** en vue d'analyses, d'expérimentations et de suivis à long terme. Cela permettrait de développer à la fois une sensibilisation à la recherche et une formation concrète aux approches expérimentales, dans un contexte plus motivant que celui de la seule approche didactique en salle de cours. Ceci se pratique avec succès aux Etats-Unis (voir l'exemple de D. Tilman et ses travaux remarquables sur les relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes). Ce serait un moyen efficace de mettre en œuvre le concept de « science-citoyenne » ou de « science participative » qui a beaucoup de succès outre-manche.

2. Appuyer le développement et l'ouverture de l'écologie scientifique

L'éducation et la formation dans un domaine scientifique quel qu'il soit suppose un bon développement et une pleine expression des disciplines qui l'animent et le renouvellent. Dans le cas qui nous occupe, il s'agit principalement de l'écologie et de la systématique et de leur couverture sur des disciplines de proximité dont elles ont à se nourrir, comme l'écophysiologie, l'éthologie, la paléontologie ou la biogéographie notamment.

La promotion de ces disciplines, déjà prônée dans de nombreux rapports antérieurs, relève notamment des missions des organismes de recherche concernés et des universités. L'objectif est ici l'éducation et la formation aux sciences de la biodiversité, et cela implique une ouverture sur les sciences de l'homme et de la société et leur implication ; l'identification de l'acteur principal dans ce domaine reste ouverte : il pourrait paraître judicieux de confier un rôle d'avocat dans ce dossier à la Fondation de Recherche sur la Biodiversité, qui rassemble l'ensemble des acteurs concernés, mais les attentes vis à vis de la FRB dans ce domaine ne sont pas encore explicitées par les organismes de recherche ou les Ministères.

Le besoin d'approches pluridisciplinaire dans l'étude de la biodiversité doit être relayé au niveau des universités par la mise en place de départements intégrateurs de disciplines différentes.

3. Développer les filières professionnelles

Que l'on restreigne le champ aux sciences de la biodiversité *sensu stricto* ou qu'on l'étende, ce qui paraît souhaitable compte tenu de la cohérence épistémologique, pédagogique et stratégique que cela implique, à ce que l'on appelle le développement durable, les besoins de formations professionnalisantes ont été partout soulignés. Quelques premières cibles peuvent être identifiées :

- mettre en place une filière professionnelle complète pour l'éducation à l'environnement et au développement durable ;
- développer une filière d'ingénieurs naturalistes compétents en matière d'identification et de conservation ou de gestion du patrimoine naturel (espèces et écosystèmes) ;
- promouvoir l'ingénierie des systèmes écologiques.

Au préalable, il apparaît nécessaire d'entreprendre une étude de fond sur les besoins professionnels et les débouchés potentiels, dans l'esprit de ce que l'Association Française des

Ingénieurs Ecologues (AFIE) a réalisé à la demande du Muséum dans le cadre de l'élaboration du Mastère « Expertise faune-flore, gestion du patrimoine naturel ». Les travaux de l'ATEN (Agence Technique des Espaces Naturels) qui concernent une partie de ce monde professionnel (les parcs régionaux, nationaux, les réserves, le conservatoire du littoral et les conservatoires d'espaces naturels...) peuvent contribuer à la connaissance de l'emploi pour ces métiers qui touchent principalement aux deux grands domaines de l'ingénierie écologique et de l'éducation à l'environnement.

4. Introduire de manière concrète l'enseignement de la notion de biodiversité et des enjeux s'y rattachant, tant au collège qu'au Lycée.

La notion de biodiversité est actuellement présentée en 3^{ème} dans le cadre de l'étude des grandes crises du passé, mais il n'est pas question de la crise actuelle et des interactions entre l'Homme et la biodiversité. La notion de biodiversité pourrait être introduite dans les enseignements de SVT en 6^{ème}, non pas en tant que seule 'diversité biologique', mais dans le cadre de l'étude de l'environnement et des relations fortes existant entre homme et nature. Elle pourrait être reprise et approfondie au Lycée, en Première S, où l'étude des relations entre géotypes, phénotypes et environnement se prête à la mise en avant de la notion de diversité biologique, et surtout en Terminale S, où la notion de dynamique de la biodiversité peut s'appuyer sur l'enseignement de l'évolution et la présentation de la démarche de la paléontologie, ceci sans oublier ce qui peut être fait en enseignement scientifique (ES) en Première non scientifique (L et ES). Il conviendrait de dépasser la simple analyse des crises passées pour **mettre l'accent sur les enjeux actuels de la connaissance et de la gestion et conservation de la biodiversité**. Le présent document montre en effet que la biodiversité est devenue une notion commune à plusieurs disciplines scientifiques relevant des sciences biologiques et des SHS, mais que cela n'impliquait pas encore le partage des mêmes concepts. En dehors de l'enseignement des SVT, il serait donc souhaitable que cette notion de biodiversité dans son acceptation la plus large soit aussi abordée dans les enseignements de philosophie et d'économie (« valeurs de la biodiversité »).

Si on veut que les citoyens soient à même de comprendre pourquoi il convient de mieux intégrer la biodiversité dans la vie de la société, il est essentiel que les nouvelles générations aient, au sortir de l'enseignement secondaire une perception claire de la notion de biodiversité et des différents enjeux qui l'accompagnent.