

**Que décider ? Comment ?
Vers une stratégie nationale
de recherche sur
la biodiversité pour
un développement durable**

Bernard Chevassus-au-Louis, Robert Barbault & Patrick Blandin

VIII

Introduction. La stratégie française de recherche sur la biodiversité (Anonyme, 2003e) s'insère dans deux réflexions plus globales, elles-mêmes composantes de la stratégie nationale du développement durable adoptée en juin 2003 par le gouvernement français (Anonyme, 2003c).

La première réflexion est celle de la recherche sur et pour le développement durable. Dès 2002, cette démarche avait donné lieu à la rédaction d'un ouvrage collectif des organismes français de recherche, qui a été présenté lors du sommet de Johannesburg (Anonyme, 2002a). La recherche figure également parmi les treize thèmes développés par le « livre blanc des acteurs français du développement durable » élaboré pour préparer ce sommet (Anonyme, 2002b). Cette réflexion sur la recherche s'est ensuite approfondie dans le cadre d'un groupe de travail mandaté par Mesdames Claudie Haigneré, ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles Technologies et Tokia Saïfi, secrétaire d'État au Développement durable. Ce groupe, présidé par le professeur Roger Guesnerie, a remis son rapport intermédiaire en juin 2003 (Anonyme, 2003a). Ce rapport insiste en particulier sur quatre points :

— le caractère fortement transversal des problèmes de développement durable et la nécessité d'une mobilisation coordonnée de toutes les disciplines scientifiques. Pour développer ces approches intégrées et interdisciplinaires, les sciences humaines et sociales, d'une part, la modélisation, d'autre part, sont identifiées comme devant jouer un rôle tout particulier ;

— l'importance du développement d'interactions fortes, précoces et suivies entre la société et les acteurs de la recherche, afin d'identifier et de hiérarchiser les problèmes. Corrélativement, la prise en compte de cette démarche dans l'évaluation, tant des personnels que des organisations des recherches, paraît indispensable ;

— la nécessité de la mise en place de dispositifs pérennes pour le recueil de données et de l'élaboration d'indicateurs pertinents, comme fondement de toute démarche de long terme ;

— la nécessité d'accentuer l'effort de communication scientifique et de formation supérieure adapté à ces enjeux spécifiques.

C'est à la suite de ce travail de portée générale que les ministères commanditaires ont demandé à l'Institut Français de la Biodiversité (IFB, voir www.gis-ifb.org) d'élaborer une « stratégie sectorielle » de recherche dans ce domaine.

La seconde réflexion est celle relative à la stratégie nationale pour la biodiversité, présentée en février 2004 par Mme Roselyne Bachelot, ministre de l'Écologie et du Développement durable (Anonyme, 2004a). Signataire en 1992 de la Convention de Rio sur la diversité biologique, la France, comme toutes les parties prenantes, devait en effet, aux termes de l'article 6 de cette convention :

— « *Élaborer des stratégies, plans ou programmes nationaux tendant à assurer la*

conservation et l'utilisation durables de la diversité biologique ou adapter à cette fin ses stratégies, plans ou programmes existants ;

— intégrer dans toute la mesure possible (...) la conservation et l'utilisation durables de la diversité biologique dans ses plans, programmes et politiques sectoriels ou intersectoriels pertinents. »

Cette stratégie avait été préparée en sollicitant en particulier une contribution conjointe du comité français pour l'UICN (Union internationale pour la Conservation de la Nature, devenue « Union mondiale pour la Nature ») et du CNDD (Conseil national du Développement durable) (Anonyme, 2003b). Elle concerne l'ensemble des aspects de la politique publique dans ce domaine et identifie en particulier le développement de la connaissance scientifique et de l'observation parmi les quatre grandes orientations retenues.

Avant de développer les grands axes de cette stratégie nationale de recherche sur la biodiversité, il nous semble nécessaire de présenter les grands changements de paradigmes qu'impose, par rapport à une vision « classique » d'une recherche sur la diversité biologique, la prise en compte de la question des changements globaux et des impératifs du développement durable.

Les différents rapports précédemment cités insistent tous, en effet, sur la profonde évolution des mentalités, des pratiques, des organisations qu'appelle une véritable prise en compte de ces nouvelles problématiques. Le CNDD souligne en particulier, dans sa première contribution de mai 2003, que : « *Aucun problème ne peut être résolu sans changer l'état d'esprit qui l'a engendré.* »

Nous illustrerons ce nouvel esprit autour de trois grands thèmes, le premier étant celui des rapports entre connaissance et action, le second abordant la question des limites d'une vision patrimoniale d'une nature « en équilibre » et le dernier développant les enjeux d'une intégration de la biodiversité au sein de la problématique du développement durable.

1. De nouveaux paradigmes à élaborer et à intégrer.

1.1. De la chaîne des connaissances au système d'apprentissage. Comme indiqué en introduction, la perspective des changements globaux nous conduit à prendre conscience de la possibilité, dans les décennies à venir, de la poursuite, voire de l'accélération de modifications importantes et rapides de l'environnement planétaire, ces modifications pouvant avoir un impact majeur sur les êtres vivants.

Cette prise de conscience intervient alors que notre perception de l'état de notre connaissance sur la biodiversité a elle-même fortement changé au cours de la fin du vingtième siècle. L'ampleur du travail restant à accomplir, en termes d'inventaire et de compréhension de la biodiversité, apparaît aujourd'hui beaucoup plus considéra-

ble que dans les années quatre-vingt, alors que la rapidité des changements globaux impose des actions urgentes. Ce double constat rend caduque la mise en place d'une approche séquentielle classique « décrire, comprendre, agir ».

Pour ne prendre qu'un exemple, si l'on prend l'estimation modérée de 10 millions d'espèces vivantes et un rythme mondial annuel de description de nouvelles espèces d'environ 20 000 (Bouchet, 2000), on aboutit à une estimation d'environ quatre siècles pour achever l'inventaire de la biodiversité au niveau spécifique, qui n'est qu'un des niveaux de description possible. Si l'on croise cette approche avec les estimations parfois avancées (Rozensweig, 2000 ; voir également le chapitre II) d'une érosion de la biodiversité pouvant faire disparaître chaque année plus d'une espèce sur 1000, on constate qu'une proportion notable des espèces pourrait avoir disparu avant même d'avoir reçu un nom.

Il convient donc de passer d'une vision linéaire et séquentielle à une vision d'un système dans lequel les trois aspects de description, de compréhension et de gestion se développent simultanément et de manière interactive, afin que chaque activité bénéficie aussi vite que possible des résultats des autres. Une telle vision systémique aboutit à la notion de « spirale d'apprentissage », enchaînement intégré de séquences de description, de recherche et d'action, qui apparaît la seule manière possible d'affronter la nécessaire gestion d'une réalité connue de manière extrêmement partielle et surtout biaisée (en particulier parce que la plupart des espèces connues sont des espèces visibles à l'œil nu).

Cette nouvelle vision a des conséquences pratiques importantes en termes de positionnement de la recherche. Elle amène tout d'abord à s'interroger sur les modes de recherche pertinents dans ce contexte. Outre le modèle hypothético-déductif basé sur l'expérimentation en milieu contrôlé, il existe en effet d'autres approches fécondes, comme la recherche-observation, basée sur la description et le suivi spatio-temporel des phénomènes (à l'exemple de l'épidémiologie) ou la recherche-action, qui implique des interactions étroites entre chercheurs et gestionnaires d'une ressource ou d'un espace. Si l'on évalue l'intérêt de ces modes de recherche non seulement par rapport au critère de production de connaissances certifiées mais, plus globalement, par rapport à leur contribution à la « spirale d'apprentissage », on voit aisément que certaines hiérarchies implicites dans la communauté scientifique peuvent se voir fortement remises en cause, ce qui n'est pas sans conséquences en termes d'évaluation des chercheurs et de leurs productions (Hubert & Bonnemaire, 2000). On lira en particulier sur cette question le passage « développement durable et production de connaissances » du rapport de Roger Guesnerie (Anonyme, 2003a, p. 23-29).

Autre conséquence de cette vision systémique, le regard est amené à se porter beaucoup plus sur l'intensité des échanges entre les composantes du système que sur la qualité intrinsèque de ces composantes. Cela signifie que si l'on veut améliorer l'effi-

cacité de la « spirale d'apprentissage », il convient d'accorder au moins autant d'efforts à la circulation des flux (d'hommes, d'informations, de concepts...) qu'à l'optimisation du fonctionnement interne de chaque composante. Les notions d'autoorganisation et de capacité d'adaptation des systèmes complexes, liées à des interactions intenses et multiples entre de nombreuses composantes dotées chacune d'un petit nombre de comportements « simples », peut fournir une base théorique à cette nouvelle vision (Zwirn, 2003). Nous reviendrons en particulier sur ce point lorsque nous aborderons la question des systèmes d'information sur la biodiversité.

1.2. Du patrimoine à préserver au potentiel adaptatif. L'un des grands changements conceptuels de la fin du vingtième siècle a été à notre avis l'abandon – ou du moins la relativisation – de la notion d'état d'équilibre en biologie et en écologie. Ce changement a d'ailleurs concerné d'autres disciplines comme l'économie ou l'ethnologie, nous y reviendrons. Cette évolution résulte à la fois d'observations empiriques et de progrès conceptuels.

Sur le plan empirique, l'observation fine des écosystèmes et de leur histoire a conduit à mettre en évidence le caractère souvent contingent de leur état à un instant donné, résultant de phénomènes historiques (effets fondateurs dans les biocénoses, « catastrophes » plus ou moins périodiques, impacts durables des environnements passés...). De ce fait, un état observé d'un écosystème, même considéré comme « naturel », ne pouvait être considéré sans prudence comme un « état de référence » qu'il convenait de préserver ou, en cas de perturbations humaine ou naturelle, de « restaurer ». Toujours sur un plan empirique, de nombreuses opérations de protection ou de restauration visant en particulier à diminuer l'impact anthropique ont montré leurs limites, avec notamment la disparition d'espèces inféodées, souvent de manière complexe, aux activités humaines. Le narcississe des Glénans est un exemple emblématique de cette difficulté. Cette espèce endémique était menacée par la surexploitation (arrachage des bulbes) et a été classée parmi les espèces protégées par le Convention de Berne de 1979. Mais il est apparu que sa persistance n'était possible que si la fauche ou le pâturage des moutons maintenaient une prairie rase, d'où la nécessité d'encourager ces pratiques. En outre, le développement excessif des goélands, eux-mêmes protégés, conduit à un enrichissement du sol en azote qui semble préjudiciable à cette plante (Guy, 1990).

Sur un plan conceptuel, les progrès de la modélisation et la possibilité de suivre le comportement pas à pas d'un système – au lieu d'être seulement à même de calculer son éventuel état asymptotique – ont montré combien des équilibres stables ne constituaient que des cas très particuliers d'évolution de systèmes régis par des lois et des paramètres constants : des modèles de comportements fluctuants plus ou moins périodiques, voire chaotiques, ont été développés par la dynamique des popu-

lations et des peuplements (Ricard, 2003). Ils ont montré en particulier qu'il n'était pas nécessaire de rechercher systématiquement l'influence d'un facteur environnemental majeur pour expliquer une évolution majeure d'un écosystème. En effet, des phénomènes non-linéaires (effets de seuils, points critiques...) peuvent conduire à deux évolutions très différentes pour deux systèmes initialement similaires. Popularisée par René Thom avec la notion mathématique de « catastrophe » (Thom, 1989), cette nouvelle vision s'est peu à peu étendue à de nombreux domaines des sciences, en particulier de la biologie.

De manière moins radicale, ces approches ont permis également de montrer que le temps nécessaire pour atteindre un nouvel équilibre stable était souvent très supérieur à la durée de stabilité des paramètres biologiques ou écologiques déterminants. De ce fait, l'état d'équilibre, même s'il existe, apparaît comme une abstraction sans grande pertinence concrète.

Cette nouvelle vision rompt avec une longue tradition de l'écologie : la notion de « climax », terme désignant la structure d'équilibre – en termes de composition et d'abondance relative des espèces – d'une communauté végétale a été un concept majeur tout au long du vingtième siècle. Confronté à l'observation de perturbations naturelles récurrentes des communautés au niveau local empêchant d'atteindre cet état d'équilibre, certains théoriciens ont réintroduit la notion d'équilibre au niveau du « paysage » (ensemble des unités écologiques interconnectées d'une région) en dénommant « métaclimax » l'équilibre dynamique entre ce paysage et un régime de perturbation supposé stable à cette échelle. La longue histoire de cette idéologie de « l'équilibre de la nature », qui a conditionné une conception « fixiste » de sa conservation, est décrite en particulier par Blandin (2004).

Cette nouvelle perspective amène donc à considérer la situation instantanée d'une population, d'une espèce ou d'un écosystème non pas comme un état stable et optimum mais comme un point sur une trajectoire, qui peut n'être elle-même que l'une des trajectoires possibles. De ce fait, la notion de gestion durable prend une connotation très différente de celle relative aux ressources non renouvelables, (pétrole, minerais...), pour lesquelles elle implique essentiellement une gestion économe permettant aux générations futures d'accéder à ces ressources. Dans le cas de la biodiversité, la question devient celle de « l'adaptabilité durable », à savoir l'identification des composantes ou des processus d'un système écologique qu'il convient de préserver, renforcer, modifier pour que son évolution ne handicape pas, voire bénéficie aux générations futures. Comme l'écrivaient dès 1984 Lamotte *et al* (cf. également Blandin, 1986) : « Conserver la nature, c'est lui conserver ses potentialités évolutives. »

Un tel énoncé permet de mesurer l'ampleur du défi posé à la science : abandonner le paradigme de « l'équilibre harmonieux des écosystèmes », c'est accepter de sou-

mettre à un examen critique l'état d'un écosystème, c'est-à-dire reconnaître la possible légitimité d'un certain nombre de pratiques (introduction ou éradication d'espèces, modification des habitats...) jugées jusqu'alors regrettables, car « modifiant l'équilibre » ou ne visant pas à revenir à un état de référence antérieur. Mais en même temps, il importe de reconnaître que ce nouveau paradigme « tout est perturbation » n'est pas non plus exempt de connotation idéologique et peut conduire, à l'extrême, à une déconstruction de la nature nous dédouanant de toute éthique environnementale^{13,5}.

Ce concept de « l'adaptabilité durable » met également en lumière deux questions sur lesquelles nous reviendrons : celle de l'implication de l'homme au sein même de la plupart des écosystèmes et de celle de l'éthique de l'évolution.

De manière plus fondamentale, Patrick Blandin (Blandin & Bergandi, 1997; Blandin, 2004) souligne que cette prise en compte de la dimension historique et contingente des écosystèmes peut être redoutée, et donc refusée, par certains chercheurs travaillant sur la biodiversité, car susceptible d'affaiblir le statut scientifique et épistémologique de leurs études : la description, même détaillée, d'événements uniques, non reproductibles, est souvent considérée comme ne permettant guère la découverte de lois de portée générale.

1.3. De la protection de la nature au développement durable. Le troisième changement de paradigme résulte de l'intégration des préoccupations environnementales dans le concept plus large de développement durable, la notion de développement combinant elle-même des enjeux de viabilité économique et d'équité sociale. On peut en effet avoir de cette intégration et de ce « tripode » économique, social et environnemental une vision ambivalente.

La vision positive est celle, souvent avancée, d'une prise de conscience : le développement, pour être durable, ne peut plus se fonder sur un usage immodéré des ressources naturelles et sur la dégradation souvent irréversible de l'environnement. Même si cette prise de conscience résulte au moins autant de constats de rétroactions négatives à assez court terme (pollution des eaux, problèmes sanitaires) que de préoccupations à plus long terme, elle représente incontestablement un progrès dans la prise en compte de l'environnement. Autre dimension positive, l'introduction de la notion d'équité sociale amène à repenser les modes d'exploitation de certaines ressources, écologiquement acceptables mais discutables en termes de répartition des profits au sein d'une société ou entre les pays. Les débats sur les ressources génétiques, la gestion des pêches ou le « bio-piratage » illustrent cette nouvelle préoccupation.

Mais on peut avoir de cette intégration une vision plus négative, en redoutant la possibilité d'un asservissement des objectifs de protection de l'environnement aux impératifs du développement, aussi bien au Nord qu'au Sud. Certains font remarquer

(Godard & Hubert, 2002) que le concept de développement durable apparaît plus flou et moins exigeant que le concept « d'écodeveloppement », mis notamment en avant par le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) dans les années 1970 et qui introduisait plus clairement une volonté de rupture par rapport au modèle dominant du développement occidental.

Quoi qu'il en soit, c'est maintenant au sein de ce tripode économique, social et environnemental du développement durable qu'il apparaît nécessaire de penser les questions de la biodiversité. Un tel positionnement nous semble avoir plusieurs conséquences importantes en termes d'attitude et de démarche intellectuelle.

1.3.1. Un nécessaire élargissement. Si les enjeux de la « protection de la nature » se focalisaient principalement sur des milieux à faible pression anthropique, et visaient souvent à réduire encore cette pression (réserves, parcs nationaux), les enjeux du développement durable se situent à l'inverse dans les agro-écosystèmes, les écosystèmes urbains, les écosystèmes côtiers exploités. Ces systèmes sont au moins autant, sinon plus, des anthroposystèmes que des écosystèmes et c'est en leur sein que la biodiversité sera amenée à contribuer, positivement ou négativement, au développement. Dans le même esprit, l'intérêt pour la gestion des espèces « banales » et abondantes, jouant donc un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes, viendra élargir une vision trop focalisée sur les espèces rares et menacées.

Même s'il existe de fait un continuum entre différents degrés d'anthropisation des écosystèmes, un tel renversement de perspective vers la « nature ordinaire » – amorcé dès la loi de protection de la nature de 1976 (Blandin, 1986) – est loin d'être évident pour de multiples raisons, conceptuelles, méthodologiques, voire idéologiques. Pour ne prendre qu'un exemple, la délimitation même du système, lorsqu'il s'agit d'un système fortement anthropisé, pourra donner lieu à des divergences radicales selon qu'il sera vu comme un « sociosystème » ou comme un « écosystème » : pour la production du coton au Mali, les bourses américaines ou le comportement des émigrés en Europe font partie du sociosystème, alors que l'écologue se préoccupera plutôt d'intégrer dans son approche le régime des pluies sur le plateau guinéen. De même, la notion de « bassin versant » apparaît pertinente pour fédérer les sciences du milieu physique (hydrologie, pédologie...) autour de la gestion de l'eau mais ne mobilisera les sciences humaines et sociales que si son pourtour correspond également à une entité administrative compétente (ce qui est le cas pour les grands bassins versants français avec les Agences de bassin).

En fait, il devient nécessaire de raisonner à l'échelle de complexes géographiques beaucoup plus vastes – pays, continents, planète. C'est à quoi incite le concept d'empreinte écologique (Wackernagel & Rees, 1996 ; voir également le chapitre III) : l'empreinte éco-

logique est une mesure du fardeau imposé à la nature par un individu, une population ou un pays – voire l'humanité tout entière. Concrètement, ce fardeau est appréhendé par la superficie de terres « sauvages » et cultivées nécessaires pour assurer durablement les niveaux de consommation de ressources et d'énergie dudit individu ou de ladite population et pour recycler les déchets qu'ils produisent. Ainsi, pour qu'il y ait développement durable, il faut appréhender simultanément villes et campagnes, aires protégées et nature « habitée », agrosystèmes et milieux « naturels ».

1.3.2. *Dépasser l'opposition entre innovation et précaution.* La notion de développement, en particulier dans les pays du Nord, est souvent associée à celle d'innovation, processus créateur de richesses et de bien-être. Celle d'environnement véhicule au contraire des attitudes souvent critiques vis-à-vis de ces innovations, lorsqu'elles apparaissent avoir des impacts négatifs et sous-estimés sur les ressources naturelles. L'émergence du principe de précaution incarne selon certains la montée en puissance de cette vision critique. Il est donc tentant de considérer qu'innovation et précaution constituent les bannières de deux mondes antagonistes – « Prométhée contre Gaïa » pour reprendre l'expression de la philosophe Isabelle Stengers (2003) – et d'en déduire que la science devrait « choisir son camp », chaque camp revendiquant d'ailleurs le monopole de la « vraie » science (Chevassus, 2001).

La notion de développement durable suppose au contraire que la science contribue à nourrir aussi bien la dynamique de l'innovation que la pratique de la précaution, afin d'élaborer des « innovations durables », dont les éventuels effets négatifs auront été identifiés et corrigés dès l'origine. Il convient donc de dépasser ce dilemme entre innovation et précaution, en soulignant que la science peut non seulement contribuer à ces deux démarches, mais aussi s'en enrichir : la prise en compte des risques climatiques ou de ceux liés aux prions sont des exemples d'attitudes de précaution ayant débouché sur des acquis scientifiques majeurs.

Cette vision apparaît particulièrement pertinente dans le cas spécifique de la biodiversité : la précaution d'aujourd'hui, qui incite à conserver un patrimoine encore mal connu et mal compris^{voir II}, contribuera sans doute à l'innovation de demain.

1.3.3. *L'intégration de la diversité culturelle.* Une conséquence, liée à la précédente, est la prise en compte du comportement des sociétés comme une des composantes de la biodiversité. C'est le concept d'ethnodiversité et de prise en compte des savoirs locaux, mis en avant dans l'article 8 de la Convention sur la diversité biologique signée à Rio de Janeiro en 1992. Cette prise en compte peut néanmoins se lire de plusieurs manières différentes.

La première est de considérer cette composante comme l'expression la plus

remarquable, dans notre espèce, de la diversité et d'en faire un élément du patrimoine vivant, au même titre que les autres aspects de la biodiversité. La seconde, plus marquée du courant de l'écologie culturelle, serait de considérer que cette diversité est en grande partie le résultat d'une coévolution entre les sociétés et leur environnement, qu'elle représente des adaptations originales et qu'elle traduit donc « l'empreinte » dans notre espèce de la biodiversité présente et passée de la planète. Enfin, une dernière vision, plus « utilitariste », est de considérer les usages locaux comme ayant, par définition, permis à la biodiversité actuelle d'être ce qu'elle est. De ce fait, décrire et préserver ces connaissances et pratiques locales serait un excellent moyen de conserver la biodiversité (Roussel, 2003 ; Chouvin *et al.*, 2004).

Au-delà de la diversité des points de vue émerge la même question que celle que nous avons évoquée à propos de la diversité des écosystèmes : en quoi cette diversité ethnique et culturelle représente-t-elle un « équilibre harmonieux » qu'il conviendrait de préserver en tant que tel (ce qui était sans doute la vision des premiers ethnologues) ? Ne faut-il pas au contraire la considérer comme un état transitoire et contingent dans une longue histoire et se poser la question de la dynamique de cette diversité, en évitant de trop « sacraliser » les situations existantes, aussi bien au Nord qu'au Sud ?

Deux autres points nous semblent à souligner par rapport à cette prise en compte des savoirs locaux. Le premier est que cette attitude doit s'appliquer au sein même de notre société, et pas seulement vis-à-vis de sociétés « exotiques ». De nombreuses personnes, exerçant des activités variées, observent aujourd'hui encore la nature et ses évolutions et élaborent des savoirs qu'il convient de valoriser. Nous reviendrons sur ce point en évoquant l'organisation du suivi de la biodiversité.

Le second point est que cette distinction entre la biodiversité et l'ethnodiversité nous renvoie à la distinction plus globale entre nature et culture. Or cette distinction même, c'est-à-dire la volonté de ranger les entités du cosmos en deux catégories différentes, n'est pas considérée comme pertinente par beaucoup de civilisations. D'autres visions du monde, plus intégrées, existent et l'anthropologue Philippe Descola (2004) a regroupé cette diversité des cosmologies autour de quatre modes majeurs, dont l'un est le mode occidental moderne.

Corrélativement, il est clair que ces autres visions poseront la question du développement durable en termes très différents, dès lors que l'environnement n'est plus considéré comme une entité distincte de la société. Prendre en compte la diversité culturelle, c'est également prendre en compte la diversité même de la notion de culture et, plus globalement, la diversité des conceptions possibles de ce que doit être un « développement durable ».

1.3.4. *La nécessité d'une culture du débat.* La troisième conséquence de l'acceptation du paradigme du développement durable est celle du passage d'une vision monocritère, centrée sur la protection de l'environnement, à une culture du débat contradictoire entre des enjeux divergents. Si la simple dialectique entre les enjeux du développement économique et ceux de l'équité sociale engendrait déjà de nombreuses tensions, il est évident que l'introduction d'un troisième pôle, porteur de ses propres enjeux et exigences, ne pourra qu'augmenter la complexité des choix.

La conservation de la nature, comme finalité spécifique, pouvait éventuellement, dans une vision positiviste, se fonder sur les « lois » scientifiques échappant à la contingence politique et guidant donc des choix « objectifs ». Bruno Latour (1999), en faisant l'analogie avec le fameux mythe platonicien de la « caverne », décrit et critique cette attitude faisant de la science écologique une « révélation » éclairant l'humanité plongée dans les ténèbres et lui imposant ses choix.

La recherche d'une option de développement durable, à un moment donné dans une société donnée, impose à l'évidence une attitude moins dogmatique : les éléments économiques, sociaux et environnementaux doivent pouvoir être examinés avec le même degré de légitimité, même si le débat amène à privilégier finalement certains d'entre eux.

La mise en place de tels débats pose cependant plusieurs questions complexes. Nous en évoquons deux, celle de la représentativité des acteurs et celle des conceptions éthiques sous-jacentes.

La représentativité des acteurs économiques et sociaux est une question ancienne et ayant donné lieu à différentes propositions et modes de représentation maintenant entrés dans les mœurs. La représentation, au sens politique du terme, de la biodiversité, est une question plus récente, car il s'agit de représenter dans le débat social des entités qui, de fait, ne s'expriment pas, qu'il s'agisse de biodiversité actuelle ou, a fortiori, à venir. Certains considèrent qu'il incombe notamment aux scientifiques « d'incarner » dans le champ social les intérêts de la biodiversité. Bruno Latour (1999) développe cette vision, en insistant sur le fait que ce statut de « porte-parole » ne doit pas les rendre pour autant incontestables : comme tous les porte-parole, ils doivent acceptés d'être soumis à critique. En effet, quels qu'en soient les représentants, la question de connaître réellement le « mandat de négociation » de la biodiversité, à savoir ce qui est acceptable, tolérable moyennant aménagement, ou ce qui représente une menace existentielle est un problème dont on mesure la difficulté et qui appelle à l'évidence à un certain pluralisme de la représentation.

1.3.5. *Quelle éthique pour le développement durable ?* La seconde question est celle des éthiques du développement durable, dont les enjeux amèneront à faire se confronter

de manière plus ou moins explicite les éthiques de la protection de l'environnement et celles du développement, qui se sont élaborées jusqu'alors pour répondre à des préoccupations très différentes.

Les éthiques de l'environnement et de la biodiversité sont en effet multiples. Elles s'expriment plus ou moins explicitement à travers divers débats, notamment ceux autour de l'appropriation du vivant (Chevassus, 2000). On trouvera dans Larrère (1997), Bergandi (2000, 2001) et Blandin (2004) des analyses détaillées de cette diversité, que nous ne présenterons que sommairement.

L'éthique des premiers protecteurs de la nature ^{CHAP. VII} était souvent une « esthétique », comme chez les peintres à l'origine de la création, en 1853, de la première aire protégée dans la forêt de Fontainebleau. Cette éthique peut également être « théocentrique » et souligner l'impératif pour l'homme de respecter l'œuvre du Créateur. Au forum national de Washington sur la biodiversité en 1986, ce point de vue a été exprimé de manière nette : « *To wipe out unnecessarily whole species (...) is a crime against our Creator* » (Cobb, 1988, cité in Blandin, 2004).

La thèse de la valeur intrinsèque de tous les êtres vivants et de leur droit à l'existence est également avancée et fonde le courant « biocentrique ». Cette vision amène à positionner notre espèce comme une parmi d'autres et à relativiser, voire à remettre radicalement en cause, son droit de perturber le devenir des autres. De manière plus limitée, l'existence de droits propres pour certaines espèces, en particulier les espèces animales domestiques, liées désormais par une « communauté de destin » avec l'homme, est défendue par des philosophes comme Élisabeth de Fontenay (1998). Ce destin commun résulte de la domestication, qui a modifié l'animal pour les besoins de l'homme et crée donc une responsabilité de celui-ci pour assurer désormais l'avenir de ces espèces. Cette notion de « droit des animaux » vis-à-vis de l'homme est d'ailleurs implicitement présente dans certains textes législatifs (Hermitte, 1993). Ce point de vue est relayé par ceux qui considèrent que l'élimination progressive des formes de discrimination, racisme, sexisme et maintenant « spécisme » (discrimination négative à l'encontre des autres espèces) constitue un progrès moral pour l'humanité.

Plus globalement, l'idée que la nature entière possède des droits propres que l'homme doit respecter, même aux dépens de son propre devenir, fonde le courant « écocentrique », qui affirme que l'homme se doit de s'intégrer sans lui nuire au fonctionnement de la planète Terre. Dans cette vision, la terre est elle-même assimilée à un « super-organisme » vivant : c'est l'« hypothèse Gaïa » (la Terre-mère de la mythologie grecque), développée il y a une vingtaine d'années par le Britannique James Lovelock (Barbault, 1994, Stengers, 2003).

Ces différentes éthiques peuvent être qualifiées de « non-utilitaristes », dans la mesure où elles ne se fondent pas, pour justifier la préservation de la biodiversité, sur

un intérêt matériel immédiat pour l'homme. Blandin (2004) souligne que la difficulté à promouvoir la protection de la nature sur de telles bases éthiques a conduit peu à peu, vers le milieu du vingtième siècle, à l'émergence d'un discours beaucoup plus utilitariste, selon lequel les services rendus par la nature étaient mis en avant pour justifier la nécessité d'une protection. Cette évolution peut également s'expliquer par la perception progressive d'une contradiction interne des éthiques non-utilitaristes lorsqu'elles sont confrontées aux aspirations des sociétés au développement : comment une éthique peut-elle conduire à faire des choix susceptibles de restreindre la capacité même de certains hommes à accéder aux satisfactions – esthétiques, morales – dont elle fait l'apologie ?

Avant de conclure ce rapide panorama des éthiques de l'environnement, nous soulignerons qu'elles se placent toutes dans la vision cosmologique occidentale d'une nature comme entité distincte, vision dont nous avons indiqué précédemment le caractère particulier.

Pour sa part, l'éthique du développement est à l'évidence fondée sur des références nettement anthropocentriques et utilitaristes. Comment ces différentes références peuvent-elles se combiner pour fonder une éthique du développement durable ? Une éthique « syncrétique », combinant ces différentes visions, est-elle envisageable ?

Une première option est celle de « l'anthropocentrisme étendu », prenant en compte l'intérêt non seulement des hommes actuels mais des générations à venir. Cette option, que l'on peut qualifier de classique et humaniste – car elle conserve comme finalité ultime le devenir des hommes – établit le lien entre les impacts sur la nature et les conséquences qui peuvent en résulter, à court ou à plus long terme, pour l'avenir de l'homme lui-même. C'est en particulier l'approche du philosophe allemand Hans Jonas dans son ouvrage de 1979, *Le Principe responsabilité*, principe ainsi énoncé : « Agis de façon que les effets de ton action soient compatibles avec la permanence d'une vie authentiquement humaine sur terre [et] de façon que les effets de ton action ne soient pas destructeurs pour la possibilité future d'une telle vie » (Jonas, 1990). Le respect de la nature devient donc, via ses conséquences possibles, un respect du devenir de l'homme lui-même, et représente une sorte de généralisation du principe de Kant « agis uniquement d'après la maxime qui fait que tu peux vouloir en même temps qu'elle devienne une loi universelle ». C'est également l'approche du japonais Tomonobu Imamichi (in Ladrière, 1997), qui a défini le concept d'« éco-éthique » comme l'obligation pour la technologie de veiller à créer un « habitat » favorable à l'homme et à son devenir, l'habitat étant défini comme l'environnement aussi bien écologique que social des hommes ;

Cette vision se décline également dans l'approche du « catastrophisme éclairé », défendu par le philosophe Jean-Pierre Dupuy (2002). Cette approche invite en effet à se détourner de toute option présentant un risque, si faible soit-il, de catastrophe

majeure pour l'humanité. Cette éthique anthropocentrique étendue apparaît comme le fondement implicite de la plupart des politiques environnementales. H. D. Rosa l'a notamment montré dans l'analyse de la mise en place du réseau européen « Natura 2000 » (Rosa & Da Silva, 2003).

Une autre option syncrétique, proposée par Patrick Blandin (2004, cf. également Bergandi, 2001; Blandin et Bergandi, 2003) est celle de « l'éthique de la coévolution » : elle se fonde sur le constat que l'homme et les autres espèces vivantes sont de fait en situation de dépendance réciproque pour s'adapter et poursuivre leur évolution, au moins dans le cadre de notre planète. Permettre donc à cette dynamique de s'exprimer – ce qui rejoint la notion précédemment évoquée d'adaptabilité durable – peut être considéré comme une attitude avantageuse pour les deux parties. Une telle éthique combine les approches biocentrique et anthropocentrique et s'écarte du dualisme culture-nature pour proposer une vision de « communauté symbiotique » de l'ensemble des êtres vivants. Selon les termes de Bergandi (2001), elle recherche donc une voie médiane, une « convergence pragmatique », entre un « anthropocentrisme environnementalement éclairé » et un « écocentrisme non misanthropique » pour aboutir à une forme « d'humanisme étendu ».

Au-delà des concepts, il conviendrait de confronter ces différentes visions à des situations concrètes pour voir si elles conduisent effectivement à des options de gestion très contrastées. Rosa & Da Silva (2003) observent en effet une certaine convergence dans la traduction pratique d'éthiques éventuellement opposées. Ainsi, dans l'anthropocentrisme strict, ce serait au défenseur de la biodiversité d'apporter la preuve qu'une action humaine va apporter une perturbation grave aux écosystèmes. Dans le biocentrisme ou l'écocentrisme strict, il y a inversion de la charge de la preuve : c'est l'homme qui doit prouver que son action ne va apporter aucune perturbation notable. Or, l'obligation de négociation et la difficulté de démonstrations indiscutables dans les domaines concernés amènent, dans les faits, les deux parties à apporter des éléments de justification et à abandonner un rôle strict d'accusateur ou de défenseur.

Ce nouveau cadre conceptuel global étant posé, nous allons maintenant présenter comment se déclinent et s'articulent les grands volets de la stratégie française de recherche sur la biodiversité.

2. Les quatre axes de la stratégie française. Cette stratégie s'organise autour de quatre axes complémentaires :

- inventorier et décrire les évolutions,
- comprendre la dynamique et prévoir les changements,
- évaluer la fonction et mesurer les impacts,
- développer des pratiques de gestion durable.

Nous ne développerons pas ici la question connexe de l'implication de la recherche dans la formation et l'information de l'ensemble de la société mais il est clair que, dans ce domaine de la biodiversité, cette responsabilité de la recherche pour diffuser de nouveaux concepts et de nouvelles approches est particulièrement importante. On trouvera en particulier dans la contribution conjointe UICN France-C.NDD (Anonyme, 2003b) de nombreuses suggestions concrètes dans ce domaine.

Nous soulignerons seulement que la diffusion des nouveaux paradigmes précédemment évoqués au sein même de la communauté scientifique représente un enjeu dont il ne faut sous-estimer ni l'importance, ni la difficulté.

2.1. Inventorier la biodiversité, décrire ses évolutions. Comme nous l'avons indiqué, l'inventaire de la biodiversité apparaît aujourd'hui une tâche dont l'ampleur avait été sans doute sous-estimée et dont l'essentiel reste à réaliser. Outre des estimations beaucoup plus élevées qu'autrefois du nombre d'espèces restant à décrire (au moins 10 millions d'espèces pour 1,7 décrites) (Anonyme, 2000 ; Bouchet, 2000), la réévaluation de ce travail est liée à deux autres phénomènes :

— le caractère dynamique du système à observer, cette dynamique étant accélérée par les changements globaux, les introductions d'espèces ou les modifications des habitats. Il ne s'agit donc pas d'établir des inventaires une fois pour toutes, comme pour les ressources minières, mais de se doter de dispositifs de suivi régulier dont les pas de temps sont à préciser et devront être adaptés : la progression d'un insecte ravageur des cultures nécessitera des observations quasi quotidiennes en période chaude, alors que l'extension de l'aire de répartition d'un arbre forestier se satisfait largement de pointages annuels.

— la nécessité de ne pas se limiter à l'inventaire de la diversité spécifique et de prendre en compte les autres niveaux d'organisation de la biodiversité. Tout d'abord, la variation intra-spécifique, autrefois minorée par les conceptions typologiques de l'espèce et par des observations essentiellement morphologiques, apparaît aujourd'hui comme une dimension clé, que l'analyse du polymorphisme moléculaire (protéines, acides nucléiques mais aussi métabolites secondaires) a clairement révélée. La connaissance de cette diversité intra-spécifique, de sa structuration (variabilité génétique intra-individuelle, variations inter-individuelles au sein des populations, variations entre populations...) et de sa dynamique apparaît indispensable pour percevoir et comprendre les évolutions intervenant en particulier lors de modifications directes ou indirectes de l'environnement (fragmentation de l'habitat, exploitation, transplantation, réintroduction...). Elle constitue donc une composante de la notion « d'adaptabilité durable » évoquée dans la première partie. Ainsi, la nécessité de prendre en compte la diversité des populations locales et de leurs adaptations spécifiques dans des opé-

rations de repeuplement ou de réintroduction (poissons, oiseaux, mammifères sauvages) est maintenant largement admise.

Parmi les points faibles de la situation actuelle, nous soulignerons en particulier :

— la question clé des référentiels taxinomiques et, corrélativement, de la conservation et de la mise à disposition des collections naturalistes. La nécessité de disposer de flores et de faunes validées, régulièrement révisées, harmonisées sur de vastes zones géographiques est maintenant reconnue par tous, de même que l'importance des collections de référence sécurisées et informatisées, permettant un accès en ligne à un maximum d'informations. Les outils techniques sont maintenant disponibles et des organisations et programmes européens (CETAF : Consortium of European Taxonomic Facilities, Fauna Europea...) ou mondiaux (GBIF : Global biodiversity Information Facility) sont en place pour coordonner les efforts, mais les moyens humains et matériels apparaissent actuellement nettement insuffisants par rapport à l'ampleur de la tâche. Le programme REFTAX (Référentiels Taxinomiques), géré par l'IFB, constitue la contribution française au GBIF. Il a pour but d'établir la liste de référence des noms scientifiques des espèces, en indiquant le nom actuellement valide, les synonymes anciens parfois encore utilisés et, à terme, le ou les noms communs de l'espèce ;

— la faiblesse numérique des compétences en systématique, cette discipline ayant fait l'objet d'une grande désaffection dans la plupart des organismes nationaux de recherche. Or la question des référentiels et des collections ne peut à l'évidence être traitée que si l'on dispose de telles compétences, qu'il s'agisse d'identifier de nouvelles espèces ou de réviser les classifications existantes. Dans un rapport récent (Anonyme, 2000), l'Académie des Sciences s'est émue de cette situation mais il faudra de longues années pour disposer à nouveau d'un potentiel scientifique à la hauteur de la tâche ;

— la nécessité de développer des indicateurs de la biodiversité, synthétisant les informations disponibles et permettant, comme dans les domaines économiques ou sociaux, d'être un outil de diagnostic et de suivi commun aux différents acteurs. Il ne s'agit certainement pas de se limiter à rechercher un indicateur unique polyvalent, qui pourrait avoir les mêmes effets pervers que la « dictature du PNB » vis-à-vis du développement. On sait par exemple que certains indicateurs de diversité spécifique comme l'indice de Shannon, réagissent peu, voire de manière paradoxale, à la surexploitation des stocks halieutiques (Lobry *et al.*, 2003). Le développement d'une batterie d'indicateurs, dont on connaît la sensibilité et la spécificité, est donc un impératif fort pour la recherche. Mais l'on mesure également l'intérêt d'indicateurs « synthétiques » pour faire avancer la prise en compte des enjeux, à l'image du rôle que joue « l'équivalent-tonne de dioxyde de carbone » dans le protocole de Kyoto. Cette approche ne rendra pas caduque non plus le repérage direct d'espèces vulnérables ou de milieux menacés, nécessitant des approches spécifiques. Le travail réalisé depuis près de quarante ans

par l'UICN pour établir et actualiser régulièrement la « Liste rouge » des espèces menacées ou disparues est à cet égard exemplaire (www.iucnredlist.org);

— le faible nombre de séries temporelles longues et fiables. Les données d'inventaire disponibles sont souvent ponctuelles, ou, lorsqu'elles ont été réalisées à plusieurs reprises, ne constituent pas de véritables répétitions, ne serait-ce que parce que des possibilités de repérage géographique précis n'étaient pas disponibles. Ainsi, même si certaines remontent au dix-huitième siècle, la plupart des données collectées par le Muséum national d'histoire naturelle (Anonyme, 2002c) concernent les trente dernières années. Une série historique comme celle de la présence du loup en France (1750-1925), obtenue à partir d'une thèse portant sur des documents d'archives, constitue, hélas, un cas exceptionnel. Lorsque l'on dispose de telles séries longues, on constate parfois que des tendances considérées comme monotones (croissance ou décroissance de populations) peuvent se révéler beaucoup plus complexes et obligent à réviser les interprétations qui en découlent. La gestion des stocks de poissons en fournit de nombreux exemples (Thibault *et al.*, 1987; Lasker, 1989). Thibault *et al.* soulignent par exemple que la décroissance des pêches de saumons observées depuis 1966 en Bretagne est à interpréter en prenant en compte que des séries plus longues, établies en Angleterre, montrent que 1966 correspond à un maximum d'abondance depuis les années cinquante. Il convient donc à la fois de mettre en place ces dispositifs de suivi, mais également de développer des recherches pour reconstituer des séries passées, à l'image des travaux des climatologues et des historiens sur les évolutions passées du climat. Lasker (1989) indique par exemple que l'étude de l'abondance des écailles dans les sédiments marins a permis de montrer que de grandes fluctuations d'abondance existaient chez la sardine et l'anchois du Pacifique bien avant le développement de la pêche industrielle (cf. également Chavez *et al.*, 2003). Outre, sur le très long terme, les travaux des paléontologues sur les grandes crises de la biodiversité, il convient de mentionner, pour une période plus récente, les approches des archéo-zoologistes et des archéo-botanistes, qui aident à comprendre l'évolution et la dispersion d'espèces en liaison avec les activités humaines (Vigne, 2003). La récente étude de Pascal *et al.* (2003) sur l'évolution de la faune française de vertébrés au cours des 10 000 dernières années est un bel exemple de cette approche.

2.2. Comprendre la dynamique, prédire les changements. L'état de la biodiversité étant mesuré et suivi, il convient également d'en comprendre la dynamique au sens précis du terme, à savoir la nature et l'importance des facteurs responsables des évolutions observées, en particulier les rôles respectifs des activités humaines et des facteurs naturels, à l'instar de ce qui a été progressivement développé pour les gaz à effet de serre et le réchauffement climatique.

Plusieurs considérations sont à prendre en compte dans cette démarche. Tout d'abord, l'importance des effets indirects et les limites corrélatives des approches sectorielles. Il apparaît de plus en plus nettement que les modifications de la biodiversité résultent principalement d'évolutions de pratiques dans des domaines variés et n'ayant pas forcément de liens forts avec la biodiversité. Par exemple, le rôle de l'exploitation directe (pêche amateur ou professionnelle) par rapport aux politiques énergétiques (barrage) ou agricoles (remembrement) sur la réduction des stocks de poissons migrateurs européens est de plus en plus minoré (Thibault, 1987). D'où la nécessité d'élargir les échelles d'observation à l'ensemble de l'espace social et de mettre en relation des bases de données variées, comme nous l'avons signalé dans l'analyse des stratégies d'inventaire.

Autre difficulté, la nature souvent complexe des relations de couplage entre la modification naturelle ou anthropique d'un facteur de l'environnement et la réaction d'une population ou d'un peuplement. Cette complexité rend souvent peu pertinentes des études expérimentales en faisant varier un seul paramètre « toutes choses égales par ailleurs ». Ainsi, le dépérissement des coraux sous l'effet du réchauffement climatique ne serait pas dû à une action directe de la température, mais à l'apport de micro-organismes pathogènes sous l'effet de l'augmentation de la turbulence atmosphérique (Griffin *et al.*, 2003 ; voir également ^{CHAP. III}). On conçoit qu'un tel phénomène ne saurait être détecté dans une approche expérimentale de l'effet de la température sur la physiologie des algues symbiotiques des coraux ! De même, l'effet du réchauffement de l'eau sur la dynamique des peuplements piscicoles lacustres s'exprime à travers des modifications complexes de la chaîne trophique pouvant favoriser, au moins temporairement, les espèces d'eaux froides ^{ENCART DE D. GERDEAUX, CHAP. IV}. Il conviendrait donc de développer des approches comparatives, de type « épidémiologiques », dans lesquelles la comparaison d'évolutions similaires ou divergentes dans les temps (série longues) ou l'espace (comparaison d'écosystèmes homologues) permet d'inférer les facteurs impliqués. Ceci nous ramène à l'importance – déjà soulignée – de diversifier les modes de recherche et à l'impérieuse nécessité de mettre en place de véritables observatoires de recherche en environnement (ORE), organisés en réseau et dotés des moyens nécessaires à leur fonctionnement à long terme.

Dernier point qu'il nous semble nécessaire d'évoquer, la séparation des rôles respectifs des facteurs naturels et des activités humaines est parfois difficile. Ainsi les modèles d'analyse de viabilité des populations montrent que le déclin d'une population peut résulter de deux phases successives : au cours de la première, une fragmentation de l'habitat ou une surexploitation excessive réduit la taille de la population. En dessous d'un certain seuil, des phénomènes endogènes de nature écologique (envahissement de la niche écologique par d'autres espèces), démographique (probabilité de

rencontre des reproducteurs) ou génétique (consanguinité) vont conduire à une forte probabilité d'extinction « naturelle », même si les perturbations externes ont cessé.

Ce phénomène pourra donc donner lieu à des interprétations conflictuelles du rôle de l'homme dans les évolutions observées, par exemple dans le cas du déclin des pêcheries de morue en Atlantique (Mac Garwin, 2004).

Pour conclure ce volet de la stratégie nationale, nous insisterons sur la nécessité de renforcer deux champs disciplinaires importants, qui ont connu une certaine désaffection au sein des sciences du vivant depuis une vingtaine d'années. Ces disciplines nous semblent en effet fondamentales pour comprendre la dynamique complexe de la biodiversité face aux changements globaux.

Le premier domaine est celui de la biologie environnementale des organismes, c'est-à-dire l'étude des relations entre les organismes et leur milieu de vie, dans les conditions réelles d'expression de ces relations (ce qui était en fait la définition initiale de l'écologie par Haeckel en 1866 !). En effet, pour des raisons techniques et méthodologiques, les études de physiologie, d'écophysiologie, de pathologie ont souvent été réalisées dans des conditions simplifiées (individus isolés, variation d'un seul facteur de l'environnement) et sur un nombre restreint d'espèces, modèles de laboratoire ou souches animales ou végétales domestiquées. En outre, pour affiner l'analyse, ces processus ont souvent été étudiés à des niveaux d'organisation plus simples – organe, cellules en culture, voire gènes isolés – sans que les questions d'intégration au niveau de « l'organisme entier » ne soient élucidées. À titre d'exemple, les cellules en culture d'une espèce animale donnée sont souvent sensibles à de nombreux virus auxquels l'espèce est totalement résistante. Il en résulte que, plus de deux siècles après la création du terme « biologie » par Lamarck (1802), les modalités de réponse de la plupart des espèces à des variations de leur environnement, et notamment les limites de cette capacité adaptative, sont relativement mal connues, alors que cette question est d'une importance primordiale pour augurer, par exemple, des conséquences des changements climatiques ou de la modification des habitats (Le Maho, 2002 ; voir également ^{chap. III}).

Or, il est aujourd'hui possible, grâce aux progrès des capteurs, de la télédétection, de la micro-électronique et de la micro-informatique, de dépasser ces limites techniques ou méthodologiques et de recueillir des informations précises sur un animal sauvage évoluant dans son milieu naturel, parmi ses congénères et les autres espèces de la biocénose. Ces techniques permettent également de suivre un individu donné pendant une période longue et donc de disposer « d'histoires de vie » individuelles, plutôt que d'avoir des valeurs moyennes et discontinues sur un groupe (Le Maho, 1995).

Ces observations donnent accès à la variabilité interindividuelle et temporelle des phénotypes, variabilité qui, pour évaluer le « potentiel adaptatif » d'une espèce,

peut se révéler une donnée beaucoup plus pertinente que des valeurs moyennes, en particulier lorsque la distribution d'un caractère n'est pas statistiquement normale. Ainsi, on a pu montrer que la fraction migrante d'une population de rongeurs, potentiellement disséminatrice d'agents pathogènes, se distinguait des sédentaires par plusieurs paramètres démographiques et morphologiques (Pascal & Boujard, 1987). Il apparaît donc aujourd'hui techniquement possible et scientifiquement souhaitable de donner un nouvel élan à de telles recherches et de rompre avec un modèle qui voudrait que les individus ne soient que des porteurs fugaces et des transmetteurs passifs de gènes (Atlan, 1999).

Le second domaine est celui de l'écotoxicologie, en dépassant là aussi les études sur des organismes « modèles » isolés et en milieu contrôlé pour aborder la difficile question de l'impact chronique de polluants sur des populations ou des peuplements. La présence – désormais avérée, détectable et certainement durable – de très nombreuses molécules de synthèse dans tous les écosystèmes fait en effet l'objet des avis les plus divers sur les conséquences éventuelles de ce phénomène. Cette divergence forte des opinions est en grande partie une mesure de notre ignorance : le rapport Kourilsky-Viney sur le principe de précaution (Kourilsky & Viney, 2000) évalue à 7 % des molécules celles qui ont fait l'objet d'une évaluation détaillée de leurs impacts sanitaires et environnementaux. Or, plus de 100 000 substances chimiques sont actuellement utilisées en Europe, dont 10 000 dépassent une production annuelle de 10 tonnes (INERIS, 2000, 2002). Le programme européen REACH (Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals), approuvé récemment, vise à remédier à cet état de fait mais il est à craindre que le faible nombre d'experts en toxicologie environnementale ne constitue une limite forte à des progrès rapide dans ce domaine, et que, par rapport à cette question des faibles doses chroniques, l'accent ne soit mis en priorité sur les risques pour la santé humaine plutôt que sur les impacts environnementaux.

2.3. Évaluer la fonction, mesurer les impacts. Ce troisième axe du programme national de recherche sur la biodiversité en est certainement la clé de voûte, puisqu'il aborde la question du rôle de la biodiversité et de sa contribution aux ambitions du développement durable, à travers en particulier la notion de « services écologiques ». Soulignons cependant qu'il ne pourra faire effectivement l'objet de recherches pertinentes que si les deux premiers axes sont suffisamment investis et interagissent avec lui. Rappelons également que cette approche « utilitariste » est éthiquement connotée et ne saurait constituer le seul éclairage possible des choix de gestion.

En termes de recherche, cette question du rôle de la biodiversité se décompose en deux volets de difficulté très différente et mobilisant des ensembles disciplinaires assez distincts.

2.3.1. *Les services rendus par la biodiversité.* Le premier volet est relatif à la mise en évidence de services rendus par des « composants » de la biodiversité (un gène, une population ou espèce particulière, un écosystème...) à travers des produits ou des services.

Cet inventaire est déjà impressionnant et nous ne le détaillerons pas. La totalité de nos aliments, une partie de notre énergie et de nos matériaux, une grande partie de nos médicaments ^{Chap. V} dérivent de composantes de la biodiversité présente ou passée. Nous n'évoquerons que deux aspects de cet inventaire :

Le premier est qu'il demeure entièrement d'actualité. Dans le domaine alimentaire, la recherche de micro-organismes permettant de conférer aux produits des caractéristiques nouvelles de goût, de texture est une composante importante de l'innovation (Balandreau, 2000); dans le domaine pharmacologique, la recherche de nouvelles molécules « tête de série » demeure active, en particulier chez les espèces marines, même si les molécules identifiées sont ensuite modifiées et produites le plus souvent par synthèse (Chevassus N., 2000). Un exemple récent est la découverte, dans l'estomac des manchots, d'un peptide à activité antibactérienne et antifongique assurant la conservation de poissons ingérés pendant trois semaines à une température de 38 °C (Thouzeau *et al.*, 2003).

La seconde remarque est liée au développement des techniques de génie génétique, qui permettent de transférer et de faire s'exprimer un gène d'une espèce donnée dans n'importe quelle autre espèce. L'idée d'aller repérer des gènes intéressants, en particulier d'adaptation à des milieux difficiles, dans des espèces sans intérêt économique direct pour améliorer les espèces domestiques animales et végétales est à la base de nombreux discours sur le potentiel des OGM. Quelle qu'en soit la portée réelle, cette perspective a donné lieu au développement de nouvelles formes d'appropriation, étatiques ou privées, de la biodiversité (Aubertin *et al.*, 1998; Aubertin, 2000; Chevassus, 2000). Ces approches apparaissent souvent plus soucieuses de profits à court terme que de gestion à long terme de ce patrimoine. L'impact indirect sur la biodiversité de ces nouvelles formes d'appropriation peut donc se révéler dans les faits plus préjudiciable que les éventuels impacts écologiques directs liés à la dissémination des OGM.

Outre cette contribution à l'élaboration de produits particuliers, les écosystèmes jouent un rôle fondamental dans la qualité d'un certain nombre de biens communs : qualité de l'eau, qualité de l'air, régulation du climat, dépollution, formation et conservation des sols, pollinisation des cultures... C'est la notion – de plus en plus mise en avant – de « service écologique », qui élargit considérablement la perspective précédente axée sur les seuls produits et qui met effectivement l'accent sur une contribution forte de la biodiversité à un certain nombre de facteurs clés du développement durable.

Pour terminer ce rapide survol de ce premier volet, signalons la question de l'évaluation économique de l'ensemble des valeurs représentées par ces produits et ser-

vices. Si les produits faisant l'objet d'échanges marchands peuvent être aisément évalués en termes monétaires, il n'en est pas de même des dimensions non monétaires de ces produits et, a fortiori, des services écologiques ne donnant pas lieu à des échanges marchands. Les économistes ont donc développé dans ce domaine des méthodes indirectes aboutissant parfois à des chiffres considérables (cf. Costanza, 1997 dans Vivien, 2000), dépassant largement le PNB mondial, mais l'on peut s'interroger sur la validité de telles approches.

2.3.2. Les conditions de la fonctionnalité. Si le volet précédent suppose un travail d'inventaire s'appuyant sur des techniques et des méthodes bien établies, il n'en est pas de même du second volet, c'est-à-dire la définition des conditions nécessaires à la production par les écosystèmes de ces produits et services. Autrement dit, quelles sont les composantes d'un écosystème qui apparaissent indispensables à cette production et qui devraient, de ce fait, faire l'objet d'une attention particulière ? Existe-t-il dans un écosystème une hiérarchie des espèces, certaines apparaissant nécessaires et d'autres « facultatives » ?

Pour comprendre la portée de cette interrogation, il faut rappeler que l'intérêt d'une biodiversité élevée – à ses différents niveaux d'organisation – ne peut être considéré comme une évidence et constitue au contraire une problématique ancienne mais encore très active des recherches en écologie, tant sur le plan théorique qu'expérimental (Blandin *et al.*, 1976 ; Loreau & Behera, 1999 ; Loreau, 2000 ; Naeem, 2000 ; Ponsard *et al.* 2003 ; Loeuille & Loreau, 2004).

On peut résumer les principaux éléments de ce débat autour des points suivants :

— Au-delà de l'inventaire systématique des espèces, l'écologie fonctionnelle propose de regrouper les espèces en « groupes fonctionnels », ensemble d'espèces qui jouent un rôle similaire dans les processus écologiques, en particulier dans les réseaux trophiques (détritivores, herbivores, prédateurs...). Ces groupes fonctionnels peuvent comprendre des espèces appartenant à des groupes très divers sur le plan systématique, d'où l'intérêt déjà souligné de bien connaître la biologie des organismes pour opérer ces regroupements. Or, au sein d'un groupe fonctionnel, il pourrait exister des phénomènes de redondance, autrement dit l'augmentation du nombre d'espèces, au-delà d'un seuil minimum, ne jouerait plus de rôle dans les performances de l'écosystème (Blandin *et al.*, 1976). Blandin (2004) souligne que les tenants de la diversité spécifique contestent, voire dénoncent cette notion d'espèces « similaires », en soulignant que toute espèce est originale et peut représenter un potentiel pour l'avenir, même si elle joue un rôle apparemment mineur dans un écosystème à un instant donné.

— La manière dont les espèces sont reliées entre elles par rapport à une fonction donnée, c'est-à-dire la géométrie du réseau, joue un rôle sans doute plus impor-

tant que le nombre d'espèces qu'il englobe. May (1972) montre par exemple que si la distribution des connexions est aléatoire, l'augmentation du nombre de connexions entre espèces peut conduire à une transition vers un état instable en cas de perturbations. Par contre, lorsque seules certaines espèces sont fortement connectées à un grand nombre d'autres espèces (espèces « clés de voûte »), cette géométrie favoriserait la résistance de ce réseau aux perturbations (Ponsard *et al.*, 2003).

— Le fait d'introduire ou de retirer une espèce aura des conséquences sur les autres espèces, qui pourront modifier leurs comportements ou leurs relations. Cette capacité plus ou moins grande d'adaptation des espèces – on parle de « plasticité » et l'on retrouve l'importance de la biologie des organismes – sera donc une composante importante de la stabilité des écosystèmes.

— Il convient, pour parler du « rôle » de la biodiversité, de bien identifier les caractéristiques de l'écosystème auxquelles on s'intéresse : s'agit-il de productivité, par exemple de la production annuelle, par une prairie permanente, d'herbe consommable par des herbivores ? De « résistance », capacité à rester stable face à une perturbation ? Ou de « résilience », capacité à revenir à l'état initial après une perturbation ? Ces deux dernières notions de résistance et de résilience peuvent en effet apparaître plus importantes dans une perspective à moyen terme que la productivité maximale et la biodiversité semble y jouer un rôle plus net.

— Enfin, la question du potentiel évolutif est à considérer et oblige à ne pas considérer les seules propriétés instantanées d'un écosystème. Cette notion est bien connue en agronomie : un champ clonal de maïs hybride est un optimum instantané en termes de productivité dans un contexte technico-économique donné, mais son potentiel évolutif est restreint. Sans aller jusqu'à cet extrême, il apparaît que de nombreux agrosystèmes obéissent au même compromis en faveur du court terme. La question de leur « adaptabilité durable », évoquée dans la première partie, est donc à poser.

2.4. Développer des pratiques de gestion durable. Comme nous l'avons indiqué dans la première partie, l'élaboration de projets de développement durable nécessite une démarche impliquant tous les acteurs concernés. La recherche ne saurait donc prétendre fournir des solutions clés en mains et universelles. En revanche, elle se doit d'élaborer de nouveaux outils de gestion adaptés à deux aspects importants du nouveau contexte :

— d'une part le fait d'avoir à gérer des systèmes fortement anthropisés et des éléments de « nature ordinaire »^{voir 1.3.1} ;

— d'autre part, l'influence sans doute forte sur la biodiversité de politiques sectorielles ayant d'autres finalités (urbanisme, transport, agriculture, énergie...), ce qui oblige à élaborer des outils pouvant s'insérer dans ces politiques sectorielles.

Cela ne signifie certes pas que la recherche doive se désengager de l'appui à des opérations ayant la conservation comme finalité première : améliorer ces outils de conservation, des cryobanques à la gestion durable des espaces protégés (Babin, 2002 ; Barthold *et al.*, 2003) ou des collections vivantes, demeure un thème qu'il convient de maintenir, mais dont on mesure mieux aujourd'hui les limites, en France comme ailleurs.

Nous présenterons ces nouveaux enjeux en distinguant de manière un peu arbitraire les outils écologiques et les outils socioéconomiques, étant entendu que ces deux types d'outils seront à mobiliser dans des situations concrètes. Nous renvoyons également à la réflexion plus détaillée du chapitre VII sur les bases d'une nouvelle stratégie de conservation de la nature.

2.4.1. De nouveaux outils écologiques. La gestion d'espaces « ordinaires », fortement anthropisés, ne permet pas d'appliquer sans adaptation un certain nombre de lois écologiques de base. Ainsi, l'application de la théorie insulaire (Rosenzweig, 2000 ; voir également ^{chap. II}) à la conservation d'espèces forestières oblige à imaginer des forêts d'une taille incompatible avec le morcellement actuel des massifs forestiers. D'où l'intérêt d'outils d'aménagements écologiques, assurant une connectivité entre ces composantes et donnant à ce maillage une « taille virtuelle » équivalente à un massif continu (haies, forêts linéaires le long des routes et des cours d'eau...). De même, le concept de « refuges » permet d'éviter l'apparition d'une entomofaune résistante aux produits insecticides en délimitant et en localisant de manière pertinente un certain nombre de zones non traitées. Cette approche peut être appliquée aussi bien à des insectes vecteurs de maladies qu'à des ravageurs des cultures mais la localisation de ces refuges doit être réfléchi en fonction de la biologie de chaque espèce.

Autre exemple, la transposition de la notion de « réserve » au milieu marin pour assurer une gestion durable des pêches pose de difficiles problèmes. La taille efficace et la répartition spatiale des réserves doivent en effet s'adapter aux caractéristiques biologiques des espèces à protéger, en particulier à leur mode de reproduction et de dispersion des larves, d'où de nécessaires travaux combinant observation et modélisation (Allison *et al.*, 1998 ; Roberts, 1997). En outre, sur un plan sociologique, les pêcheurs sont plus accoutumés à la gestion par quotas ou période de pêche qu'à la notion de réserve, considérée souvent davantage comme une « concession aux écologistes » que comme un véritable outil de gestion (Pauly & Watson, 2003). On voit donc, comme nous l'avons évoqué dans la première partie, que le développement de ces nouveaux outils obligera à des approches interdisciplinaires combinant étroitement les sciences physiques, biologiques et sociales. Voir sur ce thème de la gestion des ressources marines le Chap. III.

Dans le même esprit, l'identification des objectifs des gestionnaires de l'espace

mérite des efforts accrus pour être traduite en question de recherche pertinente. Ainsi, des concepts comme la « pénétrabilité » d'un Causse pour des éleveurs de moutons (Hubert, 2000) ou l'adaptation d'un système agraire à la production d'une eau minérale de qualité (Deffontaines & Brossier, 2000) ont nécessité un important travail interdisciplinaire avant d'être traduits en termes de « génie écologique ». On trouvera en particulier dans le récent ouvrage de Bernard Hubert (2004) de nombreux exemples de cette démarche et de sa difficulté à échapper au « réductionnisme disciplinaire », qui voudrait souvent transformer un objet complexe comme un système pastoral en questions de comportement animal ou de productivité végétale.

Autre aspect de ces nouveaux outils, le traitement des invasions ou des proliférations d'espèces (rongeurs, oiseaux piscivores...) doit trouver un équilibre délicat entre protection stricte et éradication massive et s'adapter aux « représentations sociales » de ces espèces. Même si elle apparaît désuète et non pertinente aux scientifiques, la dichotomie « utile ou nuisible » est en effet un cadre de pensée souvent utilisé pour la gestion de la biodiversité.

Signalons également que la notion de « connectivité » ne peut être présentée comme une panacée et n'est pas dénuée d'ambiguïté : le fait de conserver un certain niveau de fragmentation des habitats peut conduire à des risques d'extinction locale de populations mais peut également favoriser sur le long terme des phénomènes d'adaptation, voire de spéciation. Il conviendra donc là aussi de trouver la voie entre des attitudes de conservation stricte de tout isolat local et d'autres préconisant un large brassage sur l'ensemble de l'aire de répartition d'une espèce.

L'élaboration de ces différents outils nécessite donc de combiner les observations de terrain, les modélisations, et les expérimentations et de s'insérer dans la logique de la « spirale d'apprentissage » évoquée dans notre première partie.

2.4.2. De nouveaux outils socio-économiques. Dès lors que la conservation de la biodiversité s'appuiera en partie sur des stratégies sectorielles ayant d'autres finalités (transport, habitat, agriculture...), il conviendra :

— d'une part de développer des approches interdisciplinaires pour appréhender ces différents secteurs et y décliner de manière cohérente un objectif donné. La stratégie nationale (Anonyme, 2003e) fournit dans ses annexes des éléments de stratégies spécifiques pour les domaines de l'agriculture, de la santé, du changement climatique...

— d'autre part, de définir les systèmes d'incitation adaptés à ces secteurs spécifiques et à leurs acteurs, en termes de capacité à faire prendre en compte des enjeux liés à la biodiversité. En effet, selon les caractéristiques techniques, économiques et sociales d'une activité, l'efficacité des mesures – taxation ou exonération, quotas, contractualisation, réglementation – sera variable. Il y a donc un important champ de recher-

ches à explorer pour fournir aux gestionnaires des outils adaptés à leurs objectifs.

En outre, la recherche française a vocation à se pencher sur la mise en œuvre de ces politiques dans des contextes très diversifiés au niveau de notre planète et il importe donc de développer ces recherches en partenariat avec de nombreux pays du Sud où les enjeux du développement durable sont particulièrement difficiles à affronter.

3. **Conclusion.** Au terme de cette présentation de la stratégie française de recherche sur la biodiversité, nous souhaitons revenir sur trois aspects que nous avons évoqués et qui, dans le contexte actuel, donnent à ces recherches des caractéristiques pouvant apparaître pénalisantes par rapport à d'autres thématiques. Plutôt que nier ces réalités, il nous semble en effet indispensable de les reconnaître et de les prendre en compte si l'on veut obtenir une réelle mobilisation de la communauté scientifique nationale et internationale sur ces enjeux.

Le premier aspect est le nécessaire investissement sur la mise en place et le suivi des systèmes d'information et d'observation adaptés. Cette nécessité a été identifiée depuis longtemps, en particulier par le Programme interdisciplinaire de Recherche en Environnement du CNRS (PIREN) au début des années quatre-vingt. Mais le risque est grand de voir cet enjeu délaissé à la fois par les scientifiques et les gestionnaires dans un stérile renvoi de balles, alors que nous avons montré qu'il constitue un fondement indispensable à la fois à la recherche et à la gestion. Il convient donc que les débats nécessaires s'instaurent, que les ambiguïtés sur les rôles des uns et des autres soient levées, afin de déboucher sur des solutions durables.

Le second est l'indispensable interaction avec les gestionnaires, dans ce que nous avons appelé la « spirale d'apprentissage ». Là aussi, cette démarche peut apparaître comme marginale et potentiellement moins productive par rapport à la recherche « classique », peu habituée à devoir construire et conduire en partenariat ses problématiques. Elle peut également susciter des réticences chez les gestionnaires, plus familiarisés avec une stricte séparation des tâches. Une approche pragmatique, visant à identifier, soutenir et mettre en valeur des réussites dans ce domaine sera sans doute la meilleure stratégie pour dépasser ces réticences.

Enfin, la dernière contrainte est la prise en compte du pas de temps souvent long de nombreux processus écologiques ou socio-économiques, qui oblige à ne pouvoir conclure qu'après des investissements humains et matériels de longue durée. Nous n'insisterons pas sur les éventuelles incompatibilités entre cette exigence et certaines visions de productivité à court terme de la recherche. Par contre, nous sommes persuadés qu'il y a là une opportunité considérable pour illustrer vis-à-vis de la société l'importance d'un dispositif public de recherche s'inscrivant dans la durée et pouvant prendre en compte ces enjeux.

- ALLISON G. W., LUBCHENCO J., CARR M. H.**, 1998,
« Marine reserves are necessary but not sufficient for marine conservation », *Ecol. Appl.*, n° 8, 1998, p. 79-92.
- Anonyme, 2000,
Ordonner la diversité du vivant, Rapport de l'Académie des Sciences, 1st n° 11; Ed. Tec & Doc, Paris, 258 p., ISBN 2-7430-0432-0.
- Anonyme, 2002a,
La Science au service du développement durable. Contribution des organismes publics de recherche français, éditions du ministère délégué Recherches et nouvelles Technologies, 112 p., www.recherche.gouv.fr/rapport/devdurable/default.htm
- Anonyme, 2002b,
Livre blanc des acteurs français du développement durable, Comité français pour le sommet mondial du développement durable, Johannesburg, p. 99-103, www.environnement.gouv.fr/actua/com2003/developpement_durable/documentation.htm
- Anonyme, 2002c,
Service du Patrimoine naturel. Catalogue des bases de données et des publications, éditions du Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 92 p., ISBN 2-85653-543-7.
- Anonyme, 2002d,
Cahiers d'habitats Natura 2000, tome VII : Espèces animales, La documentation française, Paris, 353 p., ISBN 2-11-004975-8.
- Anonyme, 2003a,
La Recherche au service du développement durable, Rapport intermédiaire, éditions du ministère délégué Recherches et nouvelles Technologies, 53 p., www.recherche.gouv.fr/rapport/devdurable/devdurable.htm
- Anonyme, 2003b,
Au nom du Vivant. Contribution à la stratégie nationale pour la biodiversité, éditions Comité français de l'UICN et Conseil national du développement durable, 2003, 56 p., www.uicn.fr
- Anonyme, 2003c,
Stratégie nationale de développement durable, Comité interministériel pour le développement durable, 170 p., www.environnement.gouv.fr
- Anonyme, 2003d,
Biodiversité et conservation dans les collectivités françaises d'outre-mer, éditions Gargominy, Comité français pour l'UICN, 246 p., ISBN 2-9517953-3-5.
- Anonyme, 2003e,
Stratégie sectorielle de recherche pour la biodiversité, éditions du ministère délégué Recherches et nouvelles Technologies et ministère de l'Écologie et du Développement durable, 33 p., www.gis-ibf.org
- Anonyme, 2004a,
La Stratégie nationale pour la biodiversité, éditions du ministère délégué Recherches et nouvelles Technologies, 49 p., www.environnement.gouv.fr
- ATLAN H.**, 1999,
La fin du « tout génétique » ? Vers de nouveaux paradigmes en biologie, INRA, coll. « Sciences en question », Paris. ISBN 2-7380-0863-1.
- AUBERTIN C.**, 2000,
« L'ascension fulgurante d'un concept flou », *La Recherche*, n° 333, p. 84-87.

- AUBERTIN C., BOISVERT V., & VIVIEN F. D.**, 1998,
« La construction sociale de la question de la biodiversité », *Natures, Sciences, Sociétés*, n° 1, p. 7-19.
- BABIN D.**, 2002,
Des espaces protégés pour concilier conservation de la biodiversité et développement durable, Les Cahiers de l'IFB, IFB, Paris, 52p.
- BALANDREAU J.**, 2000,
« Gérer la diversité microbienne », *La Recherche*, n° 333, p. 28-30.
- BARABASI A. L., & BONABEAU E.**, 2003,
« Réseaux invariants d'échelle », *Pour la Science*, n° 314, p. 58-63.
- BARBAULT R.**, 1994,
Des baleines, des bactéries et des hommes, Odile Jacob, Paris, p. 209-211.
- BARTHOLD C. et al.**, 2003,
« Bilan de dix ans de débats passionnés sur la gouvernance des espaces protégés en France », *Revue forestière française*, n° 6, p. 495-509.
- BAUDRY J.**, 1988,
« Approche écologique des paysages », *Courrier de la cellule environnement de l'INRA*, n° 4, p. 15-17.
- BERGANDI D.**, 2000,
« Écologie, éthique environnementale et holisme ontologique », in **FAGOT-LARGEAULT A. et ASCOT P.** (ed.), *L'Éthique environnementale*, éditions SenS, p. 65-79, ISBN 2-908-965-20-8.
- BERGANDI D.**, 2001,
« Biodiversité », in **HOTTOIS G. et MISSA J.-N.** (dir.), *Nouvelle encyclopédie de bioéthique*, De Bocck Université, Bruxelles, p. 104-112. ISBN 2-8041-3712-0.
- BLANDIN P.**, 1980,
« Évolution des écosystèmes et stratégies cénotiques », *Recherches d'écologie théorique*, Maloine, Paris, p. 221-234.
- BLANDIN P.**, 1986,
« Bio-indicateurs et diagnostic des systèmes écologiques », *Bulletin d'écologie*, n° 17 (4), p. 215-307.
- BLANDIN P.**, 2004,
« Biodiversity, between science and ethics », in **SHAKIR S. H. et MIKHAILS W. Z. A.** (eds.), *Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century*, Le Caire, p. 17-49.
- BLANDIN P., BARBAULT R. & LECORDIER C.**, 1976,
« Réflexions sur la notion d'écosystème: le concept de stratégie cénotique », *Bulletin d'écologie*, n° 7 (4), p. 391-410.
- BLANDIN P. & BERGANDI D.**, 1997,
« Entre la tentation du réductionnisme et le risque d'évanescence dans l'interdisciplinarité: l'écologie à la recherche d'un nouveau paradigme », *La Crise environnementale*, INRA, coll. « Les Colloques », n° 80, Paris.
- BLANDIN P. & BERGANDI D.**, 2003,
« La nature avec ou sans hommes ? », *La Recherche*, Hors série n° 11: *La Terre*, p. 67-71.
- BLANDIN P. & LAMOTTE M.**, 1988,
« Recherche d'une entité écologique correspondant à l'étude des paysages: la notion d'écocomplexe », *Bulletin d'écologie*, n° 19 (4), p. 547-555.
- BLANDIN P. & LUCE J.-M.**, 1994,
« La surveillance des systèmes écologiques et de la biodiversité, problèmes conceptuels et méthodologiques », *Bulletin de la société entomologique de France*, n° 99, p. 39-54.

- BOUCHET P.**, 2000,
« L'insaisissable inventaire des espèces », *La Recherche*, n° 333, p. 40-45.
- CHAVEZ F. P., RYAN J., LLUCH-COTA S. E. & NIQUEN M.**, 2003,
« From anchovies to sardines and back: multi-decadal change in the pacific ocean », *Science*, n° 299,
p. 217-221.
- CHEVASSUS B.**, 2000,
« L'appropriation du vivant: de la biologie au débat social », *Courrier de la cellule environnement de l'INRA*, n° 40, p. 5-21, ISSN 1241-3992, www.inra.fr/internet/Produits/dpenv
- CHEVASSUS B.**, 2001,
« Quatre attitudes face aux controverses », *La Recherche*, n° 339, p. 82-85.
- CHEVASSUS N.**, 2000,
« L'industrie aime bien, sans plus », *La Recherche*, n° 333, p. 92-95.
- CHOUVIN E., LOUAFI S. & ROUSSEL B.**, 2004,
Prendre en compte les savoirs et savoir-faire locaux sur la Nature. Les expériences françaises, Les documents de travail de l'IDDRI (Institut du développement durable et des relations internationales), n° 1, 28 p.,
www.iddri.org
- CONDÉ S.**, 2000,
« L'Europe en quête de consensus », *La Recherche*, n° 333, p. 46-47.
- DE FONTENAY E.**, 1998,
Le Silence des bêtes, Fayard, Paris.
- DESCOLA P.**, 2004,
« Le monde, par-delà la nature et la culture », *La Recherche*, n° 374, p. 63-67.
- DESSFONTAINES J.-P. & BROSSIER J.**, 2000,
« Système agraire et qualité de l'eau. Efficacité d'un concept et construction négociée d'une recherche », *Natures, Sciences, Sociétés*, n° 8-1, p. 14-25.
- DUPUY J.-P.**, 2002,
Pour un catastrophisme éclairé. Quand l'impossible devient certain, Seuil, Paris.
- FERRAROLI S., GEORGES J.-Y., GASPARD P. & LE MAHO Y.**, 2004,
« Where leatherback turtles meet fisheries », *Nature*, n° 429, p. 521-522.
- GRIFFIN D., KELLOGG C., GARRISON V. & SHINN E.**, 2003,
« La mondialisation des poussières », *Pour la Science*, n° 309, p. 80-85.
- GUY P.**, 1990,
« De l'avenir de la diversité biologique chez les végétaux », *Courrier de la cellule environnement de l'INRA*, n° 12, p. 15-24, ISSN 1241-3992, www.inra.fr/internet/Produits/dpenv
- GODARD O. & HUBERT B.**, 2002,
Le Développement durable et la Recherche scientifique à l'INRA. Rapport intermédiaire de mission, 45 p.,
www.inra.fr/developpement-durable/RapportDevDur.pdf
- HERMITTE M. A.**, 1993,
« L'animal à l'épreuve du droit des brevets », *Natures, Sciences, Sociétés*, n° 1, p. 47-55.
- HUBERT B.**, 2002,
« Les recherches sur le Méjan: les disciplines au cœur des tensions entre science et politique », *Natures, Sciences, Sociétés*, n° 10-2, p. 67-69.
- HUBERT B.**, 2004,
Pour une écologie de l'action, Arguments, Paris, 430 p. ISBN 2-909109-29-1.

- HUBERT B. & BONNEMAIRE J.**, 2000,
« La construction des objets dans la recherche interdisciplinaire finalisée : de nouvelles exigences pour l'évaluation », *Natures Sciences Sociétés*, n° 8-3, p. 5-19.
- INERIS Magazine**, www.ineris.fr/actualites/actualites.htm
- JONAS H.**, 1993,
Le Principe responsabilité, Trad. française, éditions du Cerf, Paris.
- KOURILSKY P. & VINEY G.**, 2000,
Le Principe de précaution, Odile Jacob, Paris.
- LADRIÈRE J.**, 1997,
L'Éthique dans l'univers de la rationalité, ARTEL-FIDES, Québec, p. 12, 63-64, 229-243.
- LAMOTTE M., SACCHI C. F. & BLANDIN P.**, 1984,
« Écologie », *Encyclopaedia Universalis*, 2^e édition, vol 5, p. 439-453.
- LASKER R.**, 1989,
« Les déterminants du recrutement », in **TROADEC J.-P.** (ed.), *L'Homme et les Ressources halieutiques*, Ifremer Plouzané, p. 189-222, ISBN 2-905434-25-2.
- LATOUR B.**, 1999,
Politiques de la Nature. Comment faire entrer les sciences en démocratie, La Découverte, Paris, ISBN 2-7071-3078-8.
- LARRÈRE C.**, 1997,
Les Philosophies de l'environnement, PUF, Paris.
- LE MAHO Y.**, 2002,
« Nature and function », *Nature*, n° 416, p. 21.
- LE MAHO Y.**, 1995,
« Le suivi des animaux dans la nature », in **LEGAY J.-M & BARBAULT R.**, *La Révolution technologique en écologie*, Masson, Paris, p. 137-153.
- LOBRY J., GASCUEL D. & DOMAIN F.**, 2003,
« La biodiversité des ressources démersales du plateau continental guinéen : utilisation d'indices classiques pour un diagnostic sur l'évolution de l'écosystème », *Aquatic Living Resources*, n° 16, p. 59-68.
- LOEUILLE N. & LOREAU M.**, 2004,
« Nutrient enrichment and food chains : can evolution buffer top-down control ? », *Theoretical Population Biology*.
- LOREAU M.**, 2000,
« L'Europe comme laboratoire », *La Recherche*, n° 333, p. 75-76.
- LOREAU M. & BEHERA N.**, 1999,
« Phenotypic Diversity and Stability of Ecosystem Processes », *Theoretical Population Biology*, n° 56, p. 29-47.
- MAC GARVIN M.**, 2004,
« La pêche : des captures à la prise de conscience », *Signaux précoces et leçons tardives : le principe de précaution 1896-2000*, Rapport de l'Agence européenne de l'Environnement, traduction française de l'IFEN, Orléans, p. 27-48, www.ifen.fr
- MAY R. M.**, 1972,
« What is the chance that a large complex system will be stable ? », *Nature*, n° 237, p. 413-414.
- NAEEM S.**, 2000,
« Expérimenter sur des écosystèmes », *La Recherche*, n° 333, p. 71-75.

- PASCAL M. & BOUJARD T.**, 1987,
« Essai de typologie de quelques paramètres démographiques et morphologiques de la fraction colonisatrice d'une population de campagnols terrestres (*Arvicola terrestris scherman* (Shaw)) », *Revue d'écologie (la terre et la vie)*, n° 42 (4), p. 357-376.
- PASCAL M., LORVELEC O., VIGNE J.-D., KEITH P., CLERGEAU P.**, 2003,
Évolution holocène de la faune de Vertébrés de France : invasions et disparitions, INRA, CNRS, MNHN, rapport au ministère de l'Écologie et du Développement durable (DNE), Paris, 381 p., www.rennes.inra.fr/scribe/recherche/inventaire.htm
- PAULY D. & WATSON R.**, 2003,
« Les derniers poissons », *Pour la Science*, n° 311, p. 39-43.
- PONSARD S., DEVAUD J.-M. & TABACCHI E.**, 2003,
« Biodiversité : les espèces tissent leurs réseaux », *Pour la Science*, n° 314, p. 122-126.
- RICARD J.**, 2003,
« La complexité biologique », *Pour la Science*, n° 314, p. 30-33.
- ROBERTS C. M.**, 1997,
« Connectivity and management of Caribbean coral reefs », *Science*, n° 278, p. 1454-1457.
- ROSSA H. D. & DA SILVA J. M.**, 2003,
« Natura 2000 network: what's the underlying ethics? », *4th Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics* (20-22 mars 2003), Toulouse, p. 86-91.
- ROUSSEL B.**, 2003,
« La Convention sur la diversité biologique : les savoirs locaux au cœur des débats internationaux », *Les synthèses de l'IDDRI* (Institut du développement durable et des relations internationales), n° 2, 4p., www.iddri.org
- ROSENZWEIG M. L.**, 2000,
« La biodiversité en équation », *La Recherche*, n° 333, p. 40-45.
- STENGERS I.**, 2003,
« Gaïa la chatouilleuse », *La Recherche*, hors-série n° 11 : *La Terre*, p. 36-39.
- THIBAUT M.**, 1987,
« Éléments de la problématique du saumon Atlantique en France », in **THIBAUT M. & BILLARD R.** (ed.), *Restauration des rivières à saumons*, INRA, Paris, p. 413-425, ISBN 2-85340-964-3.
- THIBAUT M., GUIRRIEC H., HUET G., KERMARREC J.-Y., NIHOARN A., PENNEC Y., PORCHER J.-P. & TOUZERY H.**, 1987,
« Le saumon Atlantique en Bretagne. Situation actuelle et perspectives », in **THIBAUT M. & BILLARD R.** (ed.), *Restauration des rivières à saumons*, INRA, Paris, p. 327-334, ISBN 2-85340-964-3.
- THOM R.**, 1989, *Paraboles et catastrophes*, Flammarion, Paris, 192 p.
- THOUZEAU C., LE MAHO Y., FROGET G., SABATIER L., LE BOHEC C., HOFFMANN J. A. & BULET P.**, 2003,
« Spheniscins, avian B-defensins in preserved stomach contents of the king penguin, *Aptenodytes patagonicus* », *J. Biol. Chem.*, n° 278, p. 51053-51058.
- VIGNE J.-D.**, 2003,
« Domestication animale et biodiversité : quand l'homme s'approprie les animaux », *Qu'est-ce que la diversité de la vie ?*, Odile Jacob, coll. « Université de tous les savoirs », Paris, p. 207-231.
- VIVIEN F. D.**, 2000,
« Quel prix accorder à la biodiversité ? », *La Recherche*, n° 333, p. 88-91.

WACKERNAGEL M. & REES W., 1996,

Our Ecological Footprint, Ed. New Society Publishers, Gabriola Island BC (Canada), 160 p.

ZWIERN H., 2003,

« La complexité, science du XXI^e siècle ? », *Pour la Science*, n° 314, p. 28-29.