

N° 501

ASSEMBLÉE NATIONALE

CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958

TREIZIÈME LÉGISLATURE

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale
le 12 décembre 2007

N° 131

SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2007-2008

Annexe au procès-verbal de la séance
du 12 décembre 2007

OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

RAPPORT

sur

les apports de la science et de la technologie au développement durable,
Tome II : « La biodiversité : l'autre choc ? l'autre chance ? »,

PAR MM. PIERRE LAFFITTE et CLAUDE SAUNIER,

Sénateurs.

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. Claude BIRRAUX

Premier Vice-Président de l'Office.

Déposé sur le Bureau du Sénat
par M. Henri REVOL

Président de l'Office.

*Composition de l'Office parlementaire d'évaluation
des choix scientifiques et technologiques*

Président

M. Henri REVOL

Premier Vice-Président

M. Claude BIRRAUX

Vice-Présidents

M. Pierre COHEN, député

M. Jean-Claude ETIENNE, sénateur

M. Claude GATIGNOL, député

M. Pierre LAFFITTE, sénateur

M. Pierre LASBORDES, député

M. Claude SAUNIER, sénateur

Députés

Sénateurs

M. Christian BATAILLE

M. Philippe ARNAUD

M. Jean-Pierre BRARD

M. Paul BLANC

M. Alain CLAEYS

Mme Marie-Christine BLANDIN

M. Jean-Pierre DOOR

Mme Brigitte BOUT

Mme Geneviève FIORASO

M. Marcel-Pierre CLÉACH

M. Alain GEST

M. Roland COURTEAU

M. François GOULARD

M. Christian GAUDIN

M. Christian KERT

M. Serge LAGAUCHE

M. Jean-Yves LE DÉAUT

M. Jean-François LE GRAND

M. Michel LEJEUNE

Mme Catherine PROCACCIA

M. Claude LETEURTRE

M. Daniel RAOUL

Mme Bérengère POLETTI

M. Ivan RENAR

M. Jean-Louis TOURAINÉ

M. Bruno SIDO

M. Jean-Sébastien VIALATTE

M. Alain VASSELLE

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
AVANT-PROPOS	9
INTRODUCTION	13
PREMIÈRE PARTIE - LA BIODIVERSITÉ : UNE RÉALITÉ MAL CONNUE ET GRAVEMENT MENACÉE	15
I. DES MONDES QUI RESTENT À EXPLORER	16
A. L'ÉVOLUTION SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE DE LA FIN DU XX^{ÈME} SIÈCLE	16
1. <i>La biologie moléculaire</i>	16
2. <i>Le perfectionnement des technologies d'exploration a bouleversé nos évaluations de la richesse des espèces non bactériennes</i>	16
a) L'exploration du fond des océans	16
b) La découverte des mondes de la canopée	19
3. <i>La naissance de l'écologie</i>	19
B. LE RENFORCEMENT DES CHAMPS DE CONNAISSANCE DE LA BIODIVERSITÉ DES ESPÈCES ET DES ÉCOSYSTÈMES	20
1. <i>La découverte des nouvelles espèces</i>	20
a) La réévaluation du nombre d'espèces	20
b) La poursuite des découvertes	22
2. <i>L'exploration de la diversité bactérienne</i>	23
a) La diversité du monde bactérien	23
b) Les fonctionnalités bactériennes	23
3. <i>Les recherches sur les écosystèmes</i>	24
a) La complexité du problème	24
b) Des processus expérimentaux particuliers	24
II. DES MENACES CROISSANTES	26
A. UN BILAN TRÈS INQUIÉTANT	26
1. <i>Le rythme général d'extinction des espèces s'accélère</i>	26
2. <i>Tous les biotopes sont atteints</i>	27
3. <i>Mais certains types d'écosystèmes sont plus touchés</i>	29
a) Une localisation géographique inégale de l'érosion de la biodiversité	29
b) Des biotopes sont plus particulièrement menacés	32
B. L'ACCROISSEMENT DES PRESSIONS TRADITIONNELLES	35
1. <i>La recherche d'un indice global d'atteinte à la biodiversité</i>	36
2. <i>Les pressions de prédations</i>	37
a) La pêche et l'aquaculture	37
(1) La pêche industrielle conduit à la surexploitation des espèces halieutiques et à la destruction des écosystèmes marins	37
(2) Le développement de l'aquaculture en milieu ouvert	39
b) L'exploitation forestière non contrôlée s'accélère du fait de la hausse de la demande mondiale	40
(1) Une demande en hausse satisfaite en partie par des coupes illégales	40
(2) Un équilibre de marché qui aboutit à des aberrations	42

3. Les pressions d'anthropisation des espaces	42
a) L'occupation des espaces.....	42
b) La destruction d'espaces.....	43
4. L'accroissement des échanges internationaux renforce les invasions biologiques	46
a) Un phénomène qui n'est pas récent.....	46
b) L'amplification du fait de la croissance des échanges maritimes et aériens	47
C. LA NOUVELLE MENACE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	48
III. L'ACQUISITION ET LA GESTION DES CONNAISSANCES SUR LA BIODIVERSITÉ	51
A. LES CONTRAINTES DE L'ACQUISITION DES CONNAISSANCES DANS LE DOMAINE DE LA BIODIVERSITÉ	51
1. Gérer l'espace et le temps	51
a) La multilocalisation de la recherche.....	51
b) Des temps différents	52
2. Maintenir les modes traditionnels d'exploration de la biodiversité et faire appel à des moyens nouveaux.....	52
a) Les modes traditionnels d'exploration	52
b) Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'analyse nouveaux	53
(1) La création d'indices liés à la biodiversité	53
(2) Le développement de concepts de classification nouveaux :.....	55
c) La scénarisation :.....	56
3. Généraliser l'usage des nouvelles technologies	56
a) L'utilisation à grande échelle des nouvelles technologies d'information	56
b) Les méthodes de systématique intégrante	57
c) L'utilisation des techniques d'identification biologique.....	58
B. LA GESTION DES CONNAISSANCES	58
DEUXIÈME PARTIE - L'URGENCE DES INITIATIVES.....	61
I. RÉDUIRE LES PRESSIONS D'ANTHROPISATION	62
A. LES PRESSIONS DE PRÉDATION	62
1. Les forêts tropicales et équatoriales.....	63
a) La nécessité et les limites des politiques de conservation.....	64
(1) La poursuite des actions de conservation.....	64
(2) Les limites	65
b) Faire le lien entre la conservation et l'exploitation économique des forêts tropicales	66
(1) Rétablir une transition géographique.....	67
(2) Rationaliser l'exploitation forestière.....	68
(a) L'exploitation des produits ligneux	68
(b) L'exploitation des produits non ligneux	70
(3) La réinsertion d'une économie forestière raisonnée dans la mondialisation.....	72
(a) Vers l'organisation de la rareté ?	72
(b) L'inclusion des forêts tropicales dans le cycle de Kyoto	74
2. La surexploitation des océans	75
a) La nécessité et les limites de l'aménagement de réserves marines	75
b) La gestion des milieux côtiers	76
c) Vers une aquaculture raisonnée.....	77
d) La limitation des prises connexes	77
e) Encourager la labellisation d'une pêche et d'une aquaculture responsables et durables	79
f) L'évolution de la gouvernance mondiale de la pêche	79

B. LUTTER CONTRE LES DESTRUCTIONS D'ESPACES	82
1. <i>Mieux gérer l'occupation directe des espaces</i>	82
a) La redéfinition du développement urbain.....	82
b) La compensation des occupations d'espaces.....	83
(1) Les législations existant à l'étranger	83
(2) La législation française	84
c) La gestion de l'espace rural	85
2. <i>Freiner le fractionnement des territoires</i>	86
3. <i>Les occupations indirectes d'espace : mieux gérer les eaux continentales</i>	87
a) Les conséquences de la pollution	87
b) La captation de l'eau par l'agriculture	88
4. <i>Limiter les introductions d'espèces invasives</i>	88
II. ANTICIPER LES MENACES	90
A. PRÉVENIR LES EFFETS À LONG TERME DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	90
1. <i>La vitesse acquise</i>	90
a) Les changements phénologiques	90
b) Les changements d'aires de distribution	91
c) L'évolution de l'équilibre des écosystèmes.....	94
2. <i>Des menaces très préoccupantes</i>	96
a) Les écosystèmes terrestres	97
b) Les écosystèmes océaniques	103
3. <i>L'organisation des capacités de réponse au changement climatique</i>	105
a) La nécessité de multiplier et de coordonner les actions de surveillance	105
b) Anticiper les évolutions	106
c) La conservation des semences.....	108
d) Le débat sur la sélection génétique	109
B. LES CONCURRENCES FUTURES D'OCCUPATION D'ESPACES.....	110
1. <i>La montée de la demande en biocarburants</i>	110
2. <i>Nourrir 9 milliards d'hommes en 2050 ?</i>	111
TROISIÈME PARTIE - VALORISER DURABLEMENT LA BIODIVERSITE	115
I. LA VALORISATION DES SERVICES ECOLOGIQUES	116
A. DES SERVICES DIVERSIFIES.....	116
1. <i>Les services sanitaires</i>	117
2. <i>Les services agronomiques</i>	118
a) La pollinisation.....	118
b) Les autres apports agronomiques	120
(1) Un facteur de productivité agricole.....	120
(2) Un facteur de dépollution	121
(3) Un support de résistance aux modifications de l'environnement	121
(4) Un mécanisme de limitation des ravageurs	122
3. <i>Les services hydrologiques</i>	122
4. <i>L'ingénierie écologique</i>	123
B. DES SERVICES INSUFFISAMMENT RECONNUS PAR L'ÉCONOMIE.....	123
1. <i>La réinsertion des services écologiques dans le calcul économique</i>	124
a) Des économies externes très importantes	124
b) Des caractéristiques qui ne correspondent pas au fonctionnement du marché	124
2. <i>La réorientation des politiques publiques</i>	126
a) Le renforcement des inflexions de la politique agricole commune (PAC) en faveur de la protection des écosystèmes.....	126
(1) La politique agro-environnementale de l'Union.....	126

(2) Les marges de renforcement et d'amélioration	128
b) La politique hydrologique.....	130
(1) Le principe pollueur-payeur.....	130
(2) La gestion des conflits d'usage	131
(3) La constitution de parcs hydrologiques naturels	131
II. UNE DES BOITES A OUTILS DE LA QUATRIEME REVOLUTION INDSTRIELLE	132
A. LES PRODUITS BIO-TECHNIQUES ET BIO-INSPIRES	132
1. <i>Des matériaux aux propriétés complexes.</i>	133
2. <i>Le biomimétisme</i>	135
3. <i>La bioinspiration</i>	136
B. LA NOUVELLE USINE DU VIVANT	137
1. <i>Les avantages des biotechnologies industrielles</i>	137
2. <i>Les premières utilisations</i>	138
a) Les bioproductions et les bioconversions	138
b) Les réalisations et les perspectives	139
(1) Les réalisations	139
(2) Les perspectives.....	139
C. LES INTERROGATIONS SUR LA BIOPROSPECTION	140
1. <i>Des potentialités partiellement exploitées</i>	140
2. <i>Des interrogations nouvelles</i>	142
a) Une équation économique incertaine	142
b) La lutte contre le biopiratage	143
DIX PROPOSITIONS POUR ALLER PLUS LOIN QUE LE "GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT"	145
I. INTÉGRER LA BIODIVERSITÉ DANS LA MONDIALISATION.....	148
A. UNIFIER LES GESTIONS INTERNATIONALES DE LA BIODIVERSITÉ.....	148
B. VALORISER LA BIODIVERSITÉ DANS LES MÉCANISMES DE LA MONDIALISATION	149
II. ACTIVER LES EFFORTS DE L'UNION EUROPÉENNE	152
A. PROCLAMER UN MORATOIRE SUR LES BIOCARBURANTS	152
B. RENFORCER LE PILIER ENVIRONNEMENTAL DE LA POLITIQUE AGRICOLE COMMUNE.....	152
C. AMPLIFIER L'EFFORT DE RECHERCHE SUR LES CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	153
D. METTRE EN PLACE UNE LABELLISATION EUROPÉENNE DES PRODUITS ISSUS DE LA BIODIVERSITÉ	153
E. ENGAGER UNE RÉFORME DE LA POLITIQUE EUROPÉENNE DES PÊCHES.....	154
III. METTRE EN PHASE LA PAROLE ET LES PRATIQUES DE LA FRANCE	155
1. <i>Mieux recenser et protéger la biodiversité ultramarine de la France</i>	155
2. <i>Appliquer les accords internationaux conclus par la France</i>	156
3. <i>Renforcer notre effort dans certains domaines de coopération internationale</i>	156

4. <i>Etayer et élargir notre dispositif de conservation des ressources génétiques cultivables</i>	157
a) Etayer le dispositif.....	157
b) Elargir le dispositif.....	157
IV. ERIGER LA BIODIVERSITÉ EN PRIORITÉ DE RECHERCHE	159
A. RENFORCER L'IDENTIFICATION DE LA BIODIVERSITÉ DES ESPÈCES ET DES ÉCOSYSTÈMES.	159
B. ACTIVER LA MISE EN ŒUVRE DES TECHNOLOGIES ET LE CONTRÔLE DE LA PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ	159
C. VALORISER L'ENJEU SCIENTIFIQUE ET ÉCONOMIQUE DE LA BIODIVERSITÉ	160
V. ADAPTER LA FISCALITÉ À LA VALORISATION DE LA BIODIVERSITÉ	162
VI. INSÉRER LES SERVICES RENDUS PAR LES ÉCOSYSTÈMES DANS LE CALCUL ÉCONOMIQUE	163
A. RÉMUNÉRER LES ÉCONOMIES EXTERNES PRODUITES PAR LES ÉCOSYSTÈMES ET SANCTIONNER LEURS DESTRUCTIONS	163
1. <i>Rémunérer les services écologiques</i>	163
2. <i>Instaurer progressivement le principe pollueur-payeur</i>	164
B. CRÉER UN MARCHÉ DE LA COMPENSATION DES ATTEINTES AUX MILIEUX NATURELS.	164
1. <i>L'amélioration de la loi de juillet 1976 sur l'environnement</i>	165
2. <i>Créer un marché de la compensation des atteintes aux milieux naturels</i>	165
VII. AMÉNAGER DURABLEMENT LE TERRITOIRE	167
VIII. LANCER UN PROGRAMME DE REDENSIFICATION URBAINE	168
IX. ANTICIPER LE CHANGEMENT CLIMATIQUE	169
X. DÉFINIR UN NOUVEAU CONTRAT SOCIAL AVEC LES AGRICULTEURS	171
A. LA MISE EN ŒUVRE D'UNE AGRICULTURE DE PRÉCISION	171
B. ACCROÎTRE LE RÔLE DES AGRICULTEURS DANS LA PROTECTION DES ÉCOSYSTÈMES	172
ADOPTION PAR L'OFFICE	175
ANNEXE - LISTE DES PERSONNES AUDITIONNÉES	177
I. EN FRANCE	180
II. A L'ÉTRANGER	183
A. ALLEMAGNE	183
B. COMMISSION EUROPÉENNE, BRUXELLES (BELGIQUE).....	184
C. BRÉSIL.....	184
D. COSTA RICA	185

E. ETATS-UNIS	186
F. FINLANDE	188
G. INDE.....	188
H. ITALIE	190
I. ROYAUME-UNI.....	191

TROISIÈME PARTIE

VALORISER DURABLEMENT LA BIODIVERSITE

Il est parfois utile de reconsidérer les vérités d'évidence.

Si l'on s'attache au développement de l'humanité depuis 10 000 ans – ce qu'on a appelé la civilisation –, on doit constater que ce développement s'est fait au détriment des espaces naturels et de la biodiversité du vivant.

Faut-il alors préserver la biodiversité ?

Ne pourrait-on pas se contenter de limiter les excès de la pression anthropique à venir et de continuer à arbitrer, le plus souvent possible, en faveur des activités humaines chaque fois qu'elles conduisent à modifier ou à faire disparaître les écosystèmes ?

Cette façon de faire n'est plus pertinente parce qu'au-delà de l'attachement de chacun pour le patrimoine émotionnel de la biodiversité, celle-ci **est d'abord un atout pour l'humanité.**

La proximité d'une **crise énergétique majeure** liée à la raréfaction des ressources énergétiques fossiles et la nécessité d'atténuer les effets du changement climatique impose **une forte inflexion de notre modèle de développement économique.**

Dans cette perspective, l'**utilité de la biodiversité des écosystèmes** doit être considérée dans **une double approche.**

- L'une, traditionnelle, qui consiste à garder à l'esprit qu'il est nécessaire de faire un **usage durable des biens et services qu'elle nous propose,**

- L'autre, plus novatrice, qui consiste à **faire de la biodiversité un des supports du nouveau modèle de développement** auquel – les crises climatiques et énergétiques aidant – on ne pourra pas se soustraire.

Sur ce dernier point, **deux axes de recherche** se profilent : **l'identification et la rémunération des services rendus par les écosystèmes et l'exploration d'un réservoir de biens qui pourrait être une des boîtes à outils de la quatrième révolution industrielle.**

I. LA VALORISATION DES SERVICES ECOLOGIQUES

Les services écologiques sont comme une « main invisible » qui a permis le développement de l'humanité¹.

Dans un article devenu depuis célèbre², l'économiste R. Costanza a répertorié 17 grandes fonctionnalités produites par les écosystèmes de la planète, de la régulation du climat et de l'atmosphère à la production de nourriture et de matières premières.

Dans le même ordre d'idées, « l'évaluation du millénaire » qui s'efforçait, par ailleurs, de mesurer les risques d'appauvrissement de ces fonctionnalités les a regroupées en quatre grandes catégories de services (la logistique du système, les flux d'approvisionnement du système, la régulation du système et les services culturels).

Les écosystèmes de la planète dispensent à l'humanité des services qui sont autant d'économies externes indispensables.

Mais si ces apports sont très diversifiés, ils sont très insuffisamment reconnus.

A. DES SERVICES DIVERSIFIES

Par définition, les services écologiques qui s'expriment dans un environnement naturel ne se distinguent pas des manifestations de cet environnement, **leurs fonctions essentielles ne sont donc pas toujours perceptibles.**

Par exemple, les services de régulation de l'atmosphère de transformation du méthane et du Co2 assurés par les plantes et les micro-organismes sont invisibles mais essentiels. Un article récemment paru dans Nature (19 octobre 2006) a établi qu'au Svalbard, des micro-organismes recyclent le méthane émis par des volcans à 1250 mètres de fond.

Cela donne une idée de l'offre très diversifiée des services écologiques.

On mentionnera trois types d'exemples de ces services écologiques : les services sanitaires, agronomiques et hydrologiques.

¹ On peut même affirmer, comme le fait J.C. Lefeuvre, que l'économie industrielle au XIX^{me} siècle a pris son essor grâce à la constitution de gisements de charbon dans les zones humides du carbonifère. En quelque sorte, un service écologique à retardement.

² R. Costanza et al. « The Value of the worlds' ecosystem services ». Nature 1997 – vol.387.

1. Les services sanitaires

Des expériences convergentes effectuées au Brésil par l'Institut Oswaldo Cruz et aux Etats-Unis par le National Institut of Health Service ont prouvé expérimentalement que la biodiversité des milieux joue un rôle d'inhibiteur de pathologies graves pour l'homme (leishmaniose, maladie de Chagas, maladie de Lyme)

On a constaté à l'opposé que la destruction des milieux¹ était un facteur favorisant la propagation de ces maladies :

- d'une part, les vecteurs porteurs de ces affections peuvent se transporter dans les milieux fréquentés par les hommes sans que leur ravageurs le fassent (c'est le cas de la punaise en Indonésie dans les palmeraies à huile plantées à la suite d'une déforestation),

- et, d'autre part, la destruction des milieux naturels peut entraîner celle de mammifères porteurs du pathogène mais ayant peu de contact avec l'homme, ce qui encourage les vecteurs à se fixer sur des mammifères qui ont plus de contact avec l'homme (chien, chat, rat).

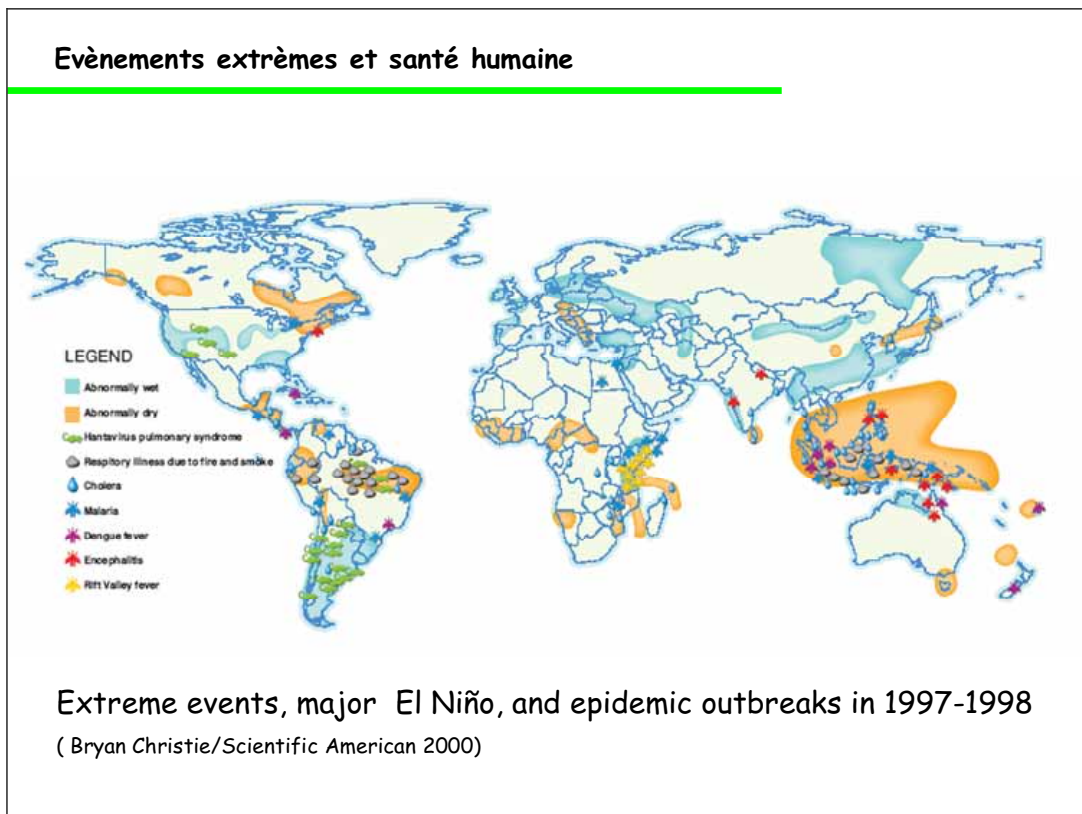
Cette contention des pathogènes est très importante. Mais on en découvre la valeur lorsque les écosystèmes correspondants sont détruits.

Cette fonction d'inhibition assurée par les écosystèmes pourrait jouer un rôle capital dans la perspective du changement climatique.

On doit rappeler que les agents pathogènes pour l'homme sont 300 fois plus nombreux dans les zones tropicales que dans les régions tempérées.

Or, le changement climatique aidant, une partie d'entre eux pourrait connaître une translation vers des zones plus tempérées. On a déjà constaté que les épisodes de poussée d'El Niño, qui correspondent à un réchauffement, créent dans l'hémisphère sud une montée des épidémies.

¹ *Notamment dans les zones intermédiaires entre les campagnes et les villes où les biotopes sont déséquilibrés et favorables aux insectes vecteurs de transmission (mouches, moustiques, tiques)*



Il va donc de soi que la **limitation de l'extension de ces pathogènes sera d'autant plus forte qu'elle pourra s'adosser à des écosystèmes variés.**

2. Les services agronomiques

a) La pollinisation

Dans les pays développés, les abeilles, domestiques et sauvages, sont les sentinelles de la dégradation progressive des écosystèmes.

Le collapsus actuel de leurs colonies est donc un signe très préoccupant.

Victimes des espèces invasives comme le frelon asiatique et de l'accroissement de l'usage de pesticide, elles sont aussi affaiblies – et donc rendues plus sensibles aux agressions de leurs pathogènes – par l'appauvrissement des biotopes agricoles, la suppression des haies et la généralisation des courtes périodes de floraison.

Or, ces apidés – il existe près de 20 000 espèces apparentées aux abeilles – contribuent à la survie de plus de 80 % des espèces de fleurs et à la production de 35 % de la nourriture végétale de l'homme (arboriculture, tomates, etc.); elles ont également un rôle très important dans le

développement des cultures destinées au bétail (luzerne, trèfle) et des cultures oléagineuses (colza, tournesol).

Mais cet apport n'est maximal que lorsqu'il existe une biodiversité de milieu propice aux abeilles ou aux bourdons faute de quoi ils ne remplissent qu'imparfaitement ces fonctions.

L'exemple qui suit, tiré de travaux présentés par J.C. Lefeuvre, est une bonne illustration des effets d'une modification des écosystèmes sur la pollinisation et indirectement des pertes de rendement qui résultent de l'affaiblissement de la biodiversité des écosystèmes :

« Des légumineuses comme le trèfle sont essentiellement pollinisées par des insectes hyménoptères regroupés au sein de la superfamille des apoïdes et des bourdons.

La comparaison entre abeilles et bourdons donne un net avantage à ces derniers. Par rapport à une abeille, une reine de bourdon pollinise 5 fois plus de fleurs par minute, tandis que les ouvrières de bourdon à langue longue sont 2,5 fois plus efficaces et celles à trompe courte 1,5 fois plus que les abeilles. Par ailleurs, les bourdons travaillent par tous les temps alors que les abeilles sont de bons agents pollinisateurs uniquement par beau temps.

On conçoit dès lors que lorsque les agriculteurs producteurs de graines de trèfle dans le Val d'Authion ont vu leur rendement décliner fortement au fil du temps dans les années 1970, un regard particulier a été porté aux bourdons. Dans les conditions « normales », l'ensemble des bourdons présents, à trompe longue ou courte, associés parfois à des abeilles, permettent d'obtenir des récoltes de graines variant de 600 à 800, voire 1250 kg/ha.

(...) Les chutes de rendement constatées l'étaient dans les zones soumises au remembrement caractérisé par des arasements de talus boisés et se traduisant par des chutes importantes de densité de bourdons aux 100 m² (inférieure à 20). Cela s'explique par le fait que les reines fondatrices de colonies ne peuvent hiverner dans les champs soumis au labour ; elles se réfugient sur les talus (sous la mousse, dans la terre ou le terreau des arbres creux). Au printemps, elles bénéficient pour nourrir leur colonie du nectar des plantes sauvages à floraison précoce telles que : les saules, le bugle rampant, le merisier, etc. que l'on trouve sur les talus à un moment où aucune plante domestique ne fleurit sur les champs. La destruction des talus se traduisant donc par une chute importante des populations de bourdons, la densité de ces insectes étant trop faible, bien des fleurs ne pouvaient être fécondées, d'où des rendements se situant autour de 200 kg/ha.

*Mais les données se sont compliquées avec l'arrivée de nouvelles variétés de trèfle, en particulier d'un trèfle tétraploïde. En effet, si ce trèfle est intéressant en raison de sa production de biomasse, on avait négligé le fait que si les feuilles s'accroissent, il en est de même de la longueur de la corolle. Cette élongation élimine bien sûr les abeilles mais aussi tous les bourdons à trompe courte ; une seule espèce est alors capable de polliniser les fleurs. Résultat encore plus catastrophique : les bourdons à trompe courte développent un comportement spécifique, le « robbing » qui lui fait percer des trous à la base des fleurs pour aller chercher le nectar, se transformant d'auxiliaire en ravageur de culture. C'est ainsi que dans les conditions d'une zone remembrée, avec seulement 10 bourdons/100m², la **production chute à 80kg/ha, soit d'un facteur 10 par rapport à la « productivité » d'un écosystème intact.** »*

b) Les autres apports agronomiques

Outre sa contribution au processus d'enrichissement des sols, la biodiversité des milieux agricoles est à la fois un facteur de productivité globale agricole, un moyen de limiter la pollution, un support de résistance aux modifications environnementales et un milieu de contention des ravageurs.

(1) Un facteur de productivité agricole

Cette faculté des écosystèmes peut s'approcher de deux façons :

- au regard de la productivité totale des facteurs employés.

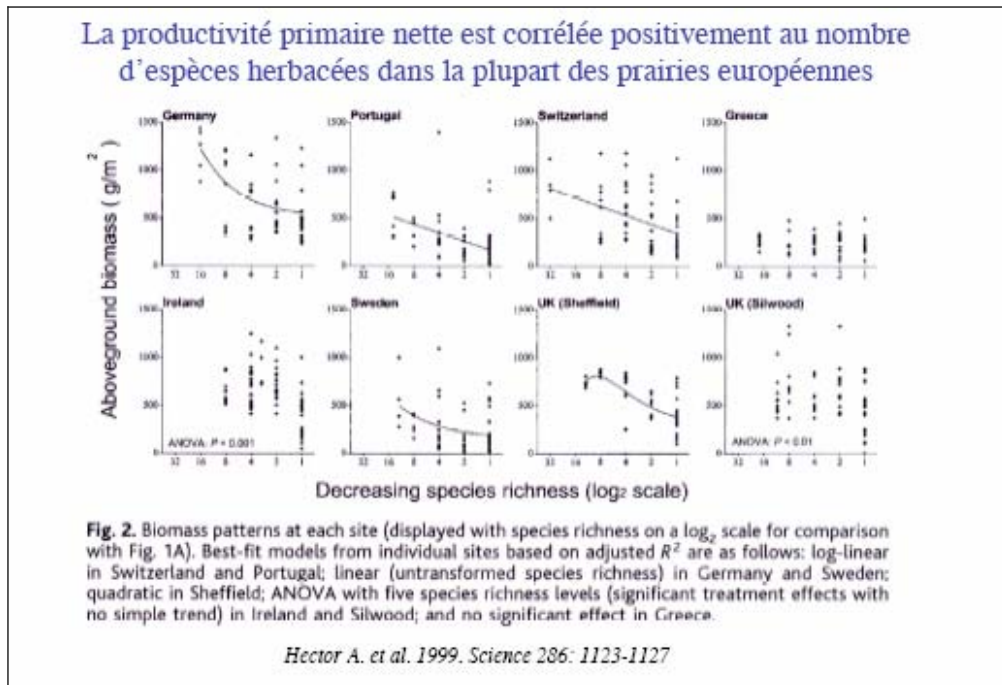
Un article paru il y a peu¹ dans « Science » établit que les biocarburants issus de prairies à grande biodiversité et cultivées avec peu d'insecticide avaient une efficacité de lutte contre l'effet de serre plus de 200 % supérieure à celles des grandes monocultures de maïs, produisant de l'éthanol avec beaucoup d'intrants.

- en fonction de la biomasse produite.

Plusieurs études établissant une corrélation positive entre le nombre d'espèces herbacées dans un espace et la biomasse produite.

¹ David Tilman – Science - Décembre 2006

Une étude européenne faite dans plusieurs pays établit cette corrélation :



Cette étude confirme une expérimentation de même nature faite aux Etats-Unis, dont les résultats sont proches, à cette réserve près que cette dernière fait apparaître un plateau de productivité au-delà de 15 espèces.

Cette augmentation de la productivité, en relation avec le degré de biodiversité, peut s'expliquer par différents phénomènes de complémentarité :

- entre les végétaux manquant d'azote et ceux le fixant mieux dans le sol,
- entre les végétaux qui injectent plus de flux carbonés dans le sol et ceux qui en injectent moins.

(2) Un facteur de dépollution

Des études, menées en Europe et aux Etats-Unis, ont montré que l'accroissement de la biodiversité d'une parcelle affecte négativement la présence de nitrate dans le sol.

(3) Un support de résistance aux modifications de l'environnement

La biodiversité des écosystèmes est « une mémoire de réussite » puisqu'elle est la résultante, dans l'hémisphère Nord, de l'évolution

d'écosystèmes qui ont réussi à résister aux variations de l'environnement depuis la dernière glaciation.

Conserver cette mémoire est donc essentiel dans la perspective du changement climatique.

(4) Un mécanisme de limitation des ravageurs

L'INRA de Rennes a montré que la destruction des zones bocagères a eu un effet sur la montée des pucerons ravageurs des cultures. En open field, ces ravageurs ne sont plus contrôlés, alors qu'en zone bocagère ils subissent un double contrôle – assez raffiné puisque variable suivant les conditions hygrométriques – soit d'un champignon, soit d'un hémisphère.

Des expériences similaires effectuées également par l'INRA, mais en milieu forestier, ont montré **que l'insertion de feuillus dans une plantation industrielle de conifères faisait baisser l'impact des ravageurs**, probablement parce que ceux-ci hébergent deux fois plus de prédateurs de ces ravageurs que la monoculture forestière de pins.

Malgré ces études, la destruction du bocage, des talus et haies se poursuit, aux limites du Poitou et de la Vendée notamment, car la grande presse, la presse quotidienne régionale et la presse professionnelle en font trop peu état et véhiculent encore le productivisme, de même que les modalités d'application de la politique agricole commune.

3. Les services hydrologiques

Les zones humides – dont plus de la moitié ont disparu en France depuis 50 ans – les forêts, les talus, constituent autant d'écosystèmes qui jouent un rôle essentiel dans la distribution hydrologique.

Le rôle des marais en matière de **prévention des crues** que l'on avait oublié, est revenu au premier plan à l'occasion de la crue de la Vilaine qui a particulièrement atteint la ville de Redon il y a quelques années, et dont l'ampleur était imputable au fait que l'on avait asséché les zones humides situées en amont de la ville.

Mais ces zones jouent également un rôle dans **l'élimination des nitrates** du sol grâce à un double processus de rétention et d'élimination par les micro-organismes.

De même, **l'hydrologie des systèmes bocagers permet d'éviter la rapidité d'écoulement des eaux**, ce qui permet à la fois d'endiguer les effets des crues et de limiter, en saison sèche le niveau des étiages.

Cet effet biologique est conforté par un phénomène physique car le bocage crée l'obligation d'avoir des sillons perpendiculaires aux pentes alors

qu'en open field les sillons sont souvent parallèles aux pentes, ce qui amplifie l'écoulement des eaux et l'érosion des sols.

Dans le même esprit :

- les micro écosystèmes mixtes arbres-enherbage le long des ruisseaux ont des effets de filtration forts des effluents agricoles :

- les bordures arborées permettent de capter une partie des éléments fertilisants, nitrates et phosphorés.

Ainsi, d'après une étude menée par Arvalis, une bordure enherbée de 6 mètres de large permet de neutraliser 85 % des pesticides s'écoulant par ruissellement¹.

4. L'ingénierie écologique

L'identification de plus en plus précise des économies externes que les écosystèmes nous fournissent gratuitement, prouve l'intérêt d'une nouvelle discipline depuis deux décennies : l'ingénierie écologique.

Celle-ci utilise notre connaissance des fonctionnalités des écosystèmes, en les artificialisant afin de mettre au point des processus de production ou de restauration plus durables.

Par exemple, la phytoremédiation utilise aussi amplement que possible l'ensemble des possibilités d'actes de plantes à des fins de dépollution (rhizofiltration dans les milieux humides, phytoextraction des métaux lourds, phytodégradation enzymatique de certains composés polluants, etc.).

Autre exemple, **la restauration récente des berges de l'Isle grâce à des travaux de génie écologique est moins coûteuse et plus durable que les techniques classiques de génie civil.**

B. DES SERVICES INSUFFISAMMENT RECONNUS PAR L'ÉCONOMIE

Un constat s'impose : l'étude des externalités positives fournies par les écosystèmes reste un domaine qui n'a pas été complètement exploré par la recherche économique.

C'est lié au fait que les services rendus par les écosystèmes étaient abondants et disponibles. **Il s'agissait de facteurs de production indispensables – mais indirects et gratuits – qui n'étaient pas pris en compte dans le calcul économique.**

¹ Ce qui ne règle pas le sort des 25 % à 70 % de produits phytosanitaires volatilisés dans l'atmosphère.

Or, l'affaiblissement progressif des écosystèmes entraîne l'érosion de la disponibilité des services qu'ils rendent, et la montée des conflits d'appropriation consécutifs à cette raréfaction¹.

Il est donc nécessaire de réinsérer les services écologiques dans le calcul économique et de tirer les conséquences de cette réinsertion en modifiant les politiques publiques qui les concernent directement.

1. La réinsertion des services écologiques dans le calcul économique

a) Des économies externes très importantes

Quelle est la mesure financière des services que les écosystèmes fournissent presque gratuitement à l'économie mondiale ?

Le principal chiffrage a été effectué par l'économiste Costanza² qui a calibré l'ensemble des biens et des services fournis par la biodiversité à 33 000 milliards en 1995 et non comptabilisés (donnée à comparer avec le PIB mondial actuel qui est de l'ordre de 35 000 milliards de dollars)

Cette évaluation est assez rudimentaire mais elle met en perspective l'importance des services rendus par les écosystèmes, puisque ce n'est qu'au terme de deux siècles de développement industriel accéléré que l'humanité arrive à produire une valeur de PIB de même ordre.

En d'autres termes, les services rendus par les écosystèmes nous **fournissent gratuitement l'équivalent d'un produit intérieur brut mondial.**

Cette mise en parallèle constitue un avertissement salutaire et une incitation économique à user plus durablement de ces ressources.

b) Des caractéristiques qui ne correspondent pas au fonctionnement du marché

Les services fournis par la biodiversité des écosystèmes sont utilisés par le marché mais ne correspondent pas à sa logique de fonctionnement :

¹ Une étude qui serait menée sur l'évolution du prix de l'eau potable en France sur les quarante dernières années montrerait le coût de la dégradation des services écologiques hydrologiques.

² Cf. l'article précité

- ils reposent sur des temps longs de constitution ou de reconstitution après usage,

- ils fournissent des utilités collectives qui ne sont pas clairement appropriables par des acteurs individuels,

- à l'opposé, les conditions de leur maintien s'opposent régulièrement à des appropriations privatives,

- enfin, lorsque ces services se dégradent, cette altération n'apparaît pas clairement en termes de niveau de vie car elle n'est pas intégrée au PIB. Au contraire, l'accroissement du fait de la dépollution pour l'eau semble accroître le PIB.

Pourtant des instruments qui permettent de quantifier financièrement, et donc de les réintégrer dans les équations de prix, existent :

- Les coûts comparatifs de maintien.

A titre d'illustration, on peut référer le coût de l'érection de barrages réservoirs de rétention de l'eau et le coût de maintien d'une surface de zones humides rendant les mêmes services.

C'est également une des méthodes choisie par les Costaricains qui alignent le rapport économique d'une forêt sur le rapport d'une surface cultivée ou mise en pâture fixée par la Banque mondiale (environ 50 dollars/hectare) et en déduisent une part (de l'ordre de 10 dollars/hectare) pour rembourser les services écologiques rendus par la forêt.

- Les coûts comparatifs de remplacement.

Ce type de calcul qui s'apparente au précédent consiste à mettre en parallèle le coût de maintien d'un écosystème et les coûts indirects de remplacement fournis par sa disparition ou son altération.

Cette méthode peut être appliquée, par exemple, au rôle des haies dans la contention et dans le maintien de la pollinisation des ravageurs, le coût de comparer leur maintien et celui de leur disparition.

- L'organisation de la rareté

Si leur affaiblissement se poursuit, les services écologiques deviendront rares. D'où l'idée qu'il peut être possible d'organiser par anticipation une rareté permettant de réintégrer ces services dans le calcul économique.

On a vu, en seconde partie de ce rapport, qu'il serait envisageable de recourir à cette solution pour limiter les pressions sur certains éléments des biotopes mondiaux, comme les ressources halieutiques ou les bois tropicaux.

Mais, on voit bien que l'utilisation de l'ensemble de ces instruments économiques qui permettraient de donner une valeur marchande aux services

fournis par la biodiversité, peut être limitée par la nature collective des biens qu'ils permettent de délivrer – comme l'eau – et par le fait que le maintien des écosystèmes relève de durées longues peu adaptées à l'instabilité des transactions marchandes.

Il est donc clairement du ressort de la puissance publique d'organiser par anticipation la prise en compte de ces services par l'économie, avant que la raréfaction n'en renchérisse excessivement les coûts. Cela suppose une réorientation des politiques publiques.

2. La réorientation des politiques publiques

La réintégration progressive des économies externes produites par la biodiversité des écosystèmes, **concerne les pays émergents** dont certains sont le domaine d'élection d'une agriculture industrielle étroitement corrélée à la destruction des écosystèmes et à l'appauvrissement de leur fonctionnement du fait des forts taux d'engrais et de pesticides employés dans ce type de cultures.

Mais cette réintégration est tout aussi nécessaire et urgente dans les pays développés.

Parce que l'intensification des techniques de forçage des milieux naturels y a atteint un plafond.

Et aussi parce que la sensibilisation des populations à ces questions y est plus avancée et que la richesse de ces économies leur confère une marge d'évolution.

Ceci est particulièrement valable pour l'Union européenne et pour la France qui devront peu à peu s'inspirer du constat que l'on ne pourra plus produire, d'ici 2030-2050, des biens agricoles sur le même mode qu'aujourd'hui.

Les contraintes qui pèseront à terme sur nos économies impliquent une réorientation de nos politiques dans ces domaines.

a) Le renforcement des inflexions de la politique agricole commune (PAC) en faveur de la protection des écosystèmes

(1) La politique agro-environnementale de l'Union.

Le mouvement actuel de hausse des prix des céréales produit par une poussée de la demande mondiale dans le long terme pourrait avoir des effets contradictoires sur la politique agricole commune et sur la biodiversité.

D'une part, il peut inciter l'Union européenne à réduire les jachères et à augmenter les quotas de production.

Mais, d'autre part, s'il se maintient, ce mouvement diminuera *de facto* de coût des soutiens aux prix agricoles et pourra offrir une marge financière pour le développement des mesures agro-environnementales (MAE) dites du « second pilier ».

La politique menée par l'Union dans ce domaine depuis 1992, et surtout après le sommet de Berlin de 1999 et l'accord agricole du Luxembourg de 2003, repose sur plusieurs principes :

- le découplage des aides qui compense la baisse des dépenses de soutien aux marchés par l'allocation d'aides aux exploitants. **Cette formule est d'ailleurs socialement souhaitable, car le soutien aux marchés aide surtout les très grandes exploitations sans tenir compte des multiples petites exploitations plus adaptées au maintien de la biodiversité et de la gestion environnementale du territoire.**

- l'attribution d'aides directes sous condition de respect de l'environnement. Les exploitants bénéficiaires sont tenus de :

- respecter des obligations environnementales fondamentales telles la directive nitrate ou les directives Natura 2000, ou la directive sur l'utilisation des produits phytosanitaires ;
- maintenir la proportion de pâturages permanents au sein de la surface agricole utilisée en 2003 ce qui permet de conserver, au niveau national, la part des surfaces en pâturages permanents qui sont des écosystèmes aux effets positifs multiples (eau, sol, biodiversité) ;
- et d'entretenir les terres selon les bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE).

- la compétence des États membres pour la définition des mesures agro-environnementales et le système d'allocation des crédits (dont l'enveloppe a évolué de 1 milliard d'euros en 1999 à 2 milliards d'euros en 2006)

En France, la mise en œuvre de cette politique repose sur deux types d'actions :

- une mesure nationale – la prime à l'herbe pour le maintien des élevages extensifs.

- des contrats régionaux dont le dispositif a évolué dans le temps. 1999 : contrats territoriaux d'exploitation ; 2002 : contrats d'agriculture durable ; 2007 : mise à disposition d'une boîte à outils nationale de 48 mesures (au lieu de 170 antérieurement) parmi lesquelles les exploitants peuvent choisir.

- l'aide par les organismes publics tels l'INRA ou la FAO à la culture des plantes traditionnelles et d'espèces autres que celles du répertoire en France pour sauvegarder les semences de variétés anciennes, et

éventuellement expérimenter des plantations ayant un intérêt nutritif certain tels les amarantes qui constituaient l'essentiel de la nourriture amérindienne et dont la richesse en protéines est reconnue¹.

(2) Les marges de renforcement et d'amélioration

Le regard que l'on peut porter sur la première application de cette politique dessine les voies de son amélioration.

Cette amélioration est d'autant plus nécessaire que la biodiversité des écosystèmes européens liés à l'agriculture se détériore.

Les mesures agro-environnementales révèlent **à la fois une carence de conception et des défauts d'application** :

- **La carence de conception** résulte de la déconnexion profonde qui existe entre le soutien aux prix agricoles et la politique d'encouragement à l'agriculture raisonnée.

Le soutien au prix des céréales ne prend que rarement en compte les possibilités de réinsertion d'espèces de céréales plus résistantes aux ravageurs, et sollicitant moins d'intrants et d'apports en irrigation.

Avec le résultat que la filière agroalimentaire n'est volontairement pas incitée à opérer des adaptations qui seraient possibles.

On en donnera deux illustrations :

- L'INRA a montré que planter du sorgho à la place du maïs aboutissait à des résultats comparables pour nourrir le bétail tout en économisant largement les ressources en eau. L'aval de la filière ne s'est pas intéressé à cette politique, alors même que la possibilité d'une réduction des précipitations de printemps, indispensables à la croissance des végétaux, dans le Sud de la France ne peut être écartée.
- L'INRA, de Rennes, a développé des recherches sur les blés rustiques à bas niveau d'intrants en créant des génotypes cumulant :
 - productivité et teneur en protéines en conditions de fertilisation N contingentée,
 - résistance diversifiée (gènes et mécanismes) aux maladies,
 - résistance à la sécheresse de fin de cycle (évitement par précocité ou meilleur enracinement),

¹ *L'interdiction de mettre en vente des semences ne figurant pas au catalogue officiel est une atteinte à la liberté ainsi qu'une mesure contraire à la protection de la biodiversité et au souci de qualité gustative. Les actions judiciaires engagées contre l'Association Kokopelli paraissent anormales aux rapporteurs qui estiment qu'il faut changer la loi.*

- compétitivité vis-à-vis des adventices (pouvoir couvrant),
- biomasse totale plus importante pour valorisation non alimentaire,
- farines de meilleure valeur nutritionnelle.

Les premiers résultats des expériences en plein champ menées avec ces blés rustiques montrent, à qualité nutritionnelle égale, des indices de fréquence de traitement (IFT) inférieurs à 50 % par rapport à une exploitation traditionnelle.

Or, la profession, qu'il s'agisse des semenciers, des coopératives ou des meuniers, demeure réticente à s'engager dans cette voie.

- **Les défauts d'application**

Ces défauts sont de plusieurs ordres :

- La biodiversité à protéger n'est pas définie avec suffisamment de précision.

Les prairies permanentes sont subventionnées de la même façon suivant qu'elles aient cinq ou cinquante ans d'âge, ce qui correspond à des états de biodiversité différents.

Les haies (dont le maintien fait l'objet d'importants concours financiers du deuxième pilier) ne sont définies ni en hauteur ni en épaisseur. De fait, certains conseils généraux ont accordé des subventions pour les plantations de haies qui, trop basses, n'ont pas été pérennes et ont été détruites en fin de contrat.

Or, des études de l'INRA montrent que, même sur de très grandes parcelles, la constitution de haies hautes et épaisses contribue fortement au maintien d'une biodiversité de l'écosystème agro-environnemental.

- La cohérence finale du système est menacée par les conditions de sa mise en œuvre.

D'une part celui-ci repose sur le volontariat, ce qui renvoie à la difficulté de créer des effets de seuil car ils dépendent du degré de participation des exploitants dans une zone.

A titre d'illustration, si 30 % des haies sur une aire de 10 km² sont traitées aux pesticides, la fonction écosystémique des haies de cette zone diminue fortement.

D'autre part, l'émiettement de l'application territoriale est renforcé par l'émiettement des mesures. Par exemple en matière de protection de la qualité de l'eau, les agriculteurs peuvent choisir entre une douzaine de mesures dont la mise en œuvre leur rapporte plus ou moins de subventions.

- La complexité du système entraîne des coûts de transaction trop élevés (de l'ordre de 30 % de l'aide à la charge de la collectivité et des agriculteurs).

Enfin, on ajoutera que l'encouragement au maintien de la biodiversité n'exclue pas, par ailleurs, que celle-ci soit détruite : **on peut planter des haies dans certaines zones, mais rien n'interdit de les détruire dans d'autres.**

b) La politique hydrologique

Les mesures agro-environnementales édictées en vue de restaurer les écosystèmes liés à l'agriculture devraient, à terme, avoir pour résultats à la fois d'accroître les disponibilités en eau et de limiter la destruction des systèmes aquatiques continentaux qui sont parmi les plus affectés par l'anthropisation.

Mais, au-delà, se profilent les conséquences des changements de l'hydrosphère, et donc des biotopes qui y sont associés, qui pourraient résulter du changement climatique.

Et on perçoit déjà que les épisodes de canicule ou même d'alerte de sécheresse aiguës les conflits d'attribution dans ce domaine.

C'est pourquoi, outre le renforcement de l'efficacité des MAE évoquées plus haut, trois pistes doivent être explorées.

(1) Le principe pollueur-payeur

L'application de ce principe progresse très lentement à l'échelle européenne : un compromis intervenu au mois de juin 2007, sur le projet de directive concernant la responsabilité environnementale vise, dans certains secteurs, à encourager, mais non à obliger, les industriels à s'assurer contre les dommages environnementaux liés à leur activité.

Cette timidité emporte un double inconvénient lorsqu'il s'agit des activités agricoles :

- elles font supporter aux utilisateurs finaux le coût des pollutions imputables aux utilisateurs intermédiaires,

- elle n'incite pas ces derniers à opérer des investissements technologiques et des mutations de pratiques industrielles ou culturelles qui deviendront indispensables dans les deux décennies qui viennent.

Pourtant le seul pays en Europe qui impose ce principe, le Danemark, obtient des résultats probants.

On comprend bien les motifs économiques qui poussent à retarder **cette échéance, mais il serait plus que souhaitable d'établir des règles et de fixer des délais pour une application progressive du principe pollueur-payeur.**

A défaut de quoi le niveau de pollution des écosystèmes aquatiques continentaux juste tolérable pour une ressource qui demeure abondante, ne le sera plus pour une ressource qui va se raréfier dans certaines régions.

(2) La gestion des conflits d'usage

La sur-utilisation de l'eau par l'agriculture a des conséquences en situation de pénurie ; elle en a également en cas de pluviosité normale.

Indépendamment même des pollutions en pesticides et insecticides imputables aux activités agricoles, le simple fait de peser sur les ressources des nappes phréatiques, aboutit à des conflits d'usage entre l'utilisation agricole de cette eau, les besoins des populations tout comme ceux des industries ou de services comme le tourisme, et les équilibres des écosystèmes qui supportent eux-mêmes des activités comme la conchyliculture.

Il est donc nécessaire de trouver une structure de gestion de la ressource, pertinente à l'échelon de la totalité d'un bassin versant, qui assurerait politiquement le rôle technique que jouent les agences de bassins.

(3) La constitution de parcs hydrologiques naturels

Le problème qui se pose est celui de la restauration à grande échelle d'écosystèmes, comme les marais ou les zones humides qui jouent un rôle dans la captation, la purification, la rétention et l'écoulement des eaux.

On a cité l'exemple de la zone humide de la Bassée en amont de Paris dont l'existence permet d'économiser 200 millions d'euros, qui en son absence auraient été consacrés à l'édification de barrages réservoirs. De même en achetant et en aménageant des zones marécageuses dans le New-Jersey, la municipalité de New-York a dépensé un milliard de dollars mais économise 300 millions de dollars par an.

Il est possible d'inciter les agences de bassin à mettre en œuvre une politique de ce type. Il suffit de le vouloir.

Cette politique pourrait être confortée par l'établissement de parcs hydrologiques naturels, dont les coûts de constitution et d'entretien pourraient être supportés par tous les usagers de l'eau.

II. UNE DES BOITES A OUTILS DE LA QUATRIEME REVOLUTION INDUSTRIELLE

La mise en parallèle à l'horizon 2050, de la croissance du nombre d'hommes, de l'augmentation de leurs besoins, et de la raréfaction des ressources mises à notre disposition nous contraindra à modifier assez rapidement l'assise de notre développement économique.

Or, notre mode de développement est largement l'héritier de la révolution industrielle et des nombreux acquis technologiques du dernier siècle et repose sur un postulat de disponibilité de ressources qui vont se raréfier. Certes, on peut estimer que le passage progressif à une société numérisée permettra d'optimiser graduellement certains de nos processus industriels.

Mais, pour l'essentiel, beaucoup de procédés industriels que nous mettons en œuvre sont dispendieux en matières premières, coûteux en énergie et insuffisamment sélectifs.

A l'opposé de ces procédés industriels physicochimiques, l'évolution a produit des solutions biologiques, beaucoup plus sophistiquées que les artefacts humains pour répondre aux pressions de sélection.

Cette « **mémoire de réussite** » que constitue la biodiversité du vivant doit conduire à une montée de l'industrie basée sur la biologie et la biotechnologie qui jointe à la montée des nanotechnologies, **sera un des ressorts de la prochaine révolution industrielle.**

Deux grands chantiers scientifiques et technologiques vont y contribuer : la bio-inspiration et les biotechnologies.

A. LES PRODUITS BIO-TECHNIQUES ET BIO-INSPIRES

Le mythe d'Icare, les planches de Léonard de Vinci ou la « chauve-souris » de Clément Ader témoignent du fait que, dans le passé, la biodiversité du vivant a été une source d'inspiration du progrès technologique.

Plus proche de nous, on peut mentionner l'invention du Velcro en 1941 par un ingénieur Suisse, Georges de Mestral, qui s'est interrogé sur les données physiques qui permettaient aux chardons de rester accrochés à la fourrure de son chien.

Dans les dernières années, on a assisté à un rapprochement dans la démarche de certains physiciens ou chimistes avec les modes de fonctionnement du vivant.

Les exemples de la structure autonettoyante de la feuille de lotus, du placement de la punaise d'eau sur un liquide, ou de l'utilisation des liaisons de Van der Waals qui permet aux millions de poils des pattes du gecko de s'accrocher aux parois verticales, sont connus.

On peut aussi citer pour l'aérodynamique et l'hydrodynamique la bio-inspiration en nautisme et aéronautique.

Mais la démarche scientifique et industrielle devient plus systématique sur ce point : elle vise à analyser les propriétés complexes des matériaux et des processus biologiques du vivant et de les détourner à des fins industrielles en utilisant soit le biomimétisme, soit la bio-inspiration.

1. Des matériaux aux propriétés complexes.

Par rapport aux produits issus de l'activité industrielle, les matériaux du vivant ont des qualités particulières.

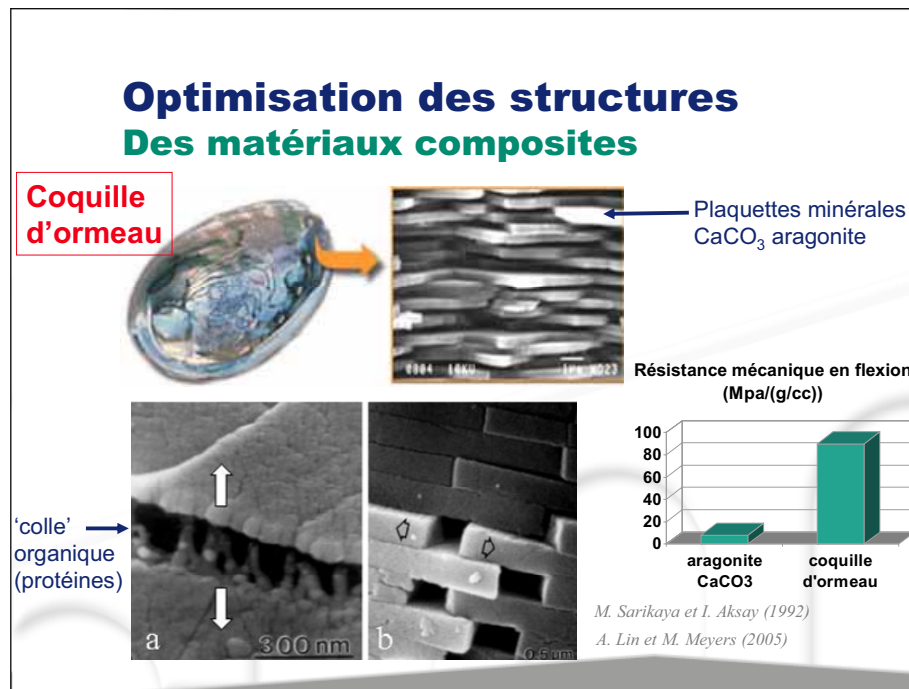
En premier lieu, ils se fabriquent généralement sous thermisation faible et donc avec une grande économie d'énergie.

Ensuite, ils possèdent des propriétés complexes :

- ils sont autonomes ; ils s'auto-organisent, se reconfigurent et s'auto-régénèrent.
- ils possèdent un degré très élevé d'optimisation des structures composites.

On peut donner deux exemples de cette optimisation. La coquille d'ormeau est un matériau très dur (les physiciens disent qu'il a une très grande ténacité). Faite d'aragonite (CaCO_3), cette coquille a une résistance propre plus de dix fois supérieure à celle de son composant.

Pourquoi ? Parce que, dans cette structure, les plaques d'aragonite sont maintenues entre elles par une colle organique (elle-même formée à partir de protéines qui ont servi à la croissance de la coquille de carbonate de calcium) :



Autre illustration, **l'organisation multi-échelles des matériaux**. Le bois composé de celluloses se caractérise par les typologies d'organisation très différentes de cette cellulose, au sein d'une espèce entre la fibre et l'arbre, ou entre espèces ligneuses, en quelque sorte du chêne au roseau.

- ils mettent en œuvre des **combinaisons sophistiquées entre le biologique et le minéral** qui donnent à certains organismes vivants :

- **des propriétés optiques**, car le minéral est stable à la lumière et permet de la focaliser (comme le font, par exemple, les calmars géants pour voir leurs proies, ou les bactéries extrêmophiles des événements marins qui utilisent cette capacité pour concentrer la lumière).
- **des propriétés magnétiques**, comme celles de ces bactéries qui contiennent de l'oxyde de fer qui leur permet de s'orienter en fonction du champ magnétique terrestre.

Cette formation des matériaux par les êtres vivants aboutit à deux voies de recherche originales, par rapport aux biotechnologies traditionnelles, le biomimétisme et la bio-inspiration.

2. Le biomimétisme

La démarche biomimétique vise à :

- repérer un comportement remarquable dans la fabrication de matériaux par le vivant,
- comprendre la relation qui s'établit entre le comportement de fonctionnement et la structure de fabrication,
- et à répliquer cette structure pour élaborer des matériaux durables, selon des processus préindustriels, c'est à dire de façon rapide, standardisée, en recherchant le moindre coût.

Dans les faits, les recherches biomimétiques, qui doivent être fortement encouragées sur le plan académique, ont déjà débouché sur de **nombreuses applications** :

- **la chimie douce** :

- élaboration de silice dans l'eau à température ambiante (hydrolyse + polycondensation) au lieu de la fabriquer dans des fours à 2000°C.

- **les matériaux adaptatifs** :

- verres photochromes qui peuvent varier de couleur en fonction des ultra-violets,
- matériaux à changement de phase ; par exemple les vitrocéramiques (plaques auto-cuisantes),
- les alliages à mémoire de forme, dont les matériaux présentent des formes différentes suivant la température (application en médecine pour les supports de vaisseaux sanguins destinés à prendre une forme différente une fois en place dans le corps),
- l'auto-assemblage pour imiter l'auto-organisation : on organise la matière à l'échelle de quelques microns sans manipuler les objets (silice microporeuse utilisée dans le marché du traitement de l'air avec des filtres d'un diamètre de 100 μ à quelques dizaines de nanomètres)

- **les matériaux industriels reproduisant les propriétés des matériaux issus du vivant.**

La liste qui suit n'est pas exhaustive mais elle illustre bien sa variété d'application, la valeur potentielle que la biodiversité peut offrir à l'adaptation de nos modes de développements.

On trouve des exemples industriels achevés de l'application de cette démarche biomimétique :

- la diminution de poids et l'augmentation de la résistance des structures d'ailes de l'A 380 grâce à l'imitation des structures osseuses des ailes d'oiseaux,

- les cristaux photoniques en latex, « calés » sur les longueurs d'onde de la lumière qui permettent de faire varier les effets optiques des matériaux,

- les pare-brise anti-pluie qui reposent sur les angles de contact des gouttes d'eau avec la pluie et sur l'imitation de la structure (en picot hydrophobe) de la feuille de nénuphar,

- un ruban adhésif très collant inspiré de la structure des pattes du gecko (en multipliant les mini-structures collantes de 2 μ),

- ou les composites laminés comme le blindage léger en aluminium-titane.

3. La bioinspiration

Cette démarche a pour objet d'utiliser les molécules impliquées dans la fabrication des matériaux par le vivant ou d'identifier ou de synthétiser des analogues de ces molécules pour produire des artefacts que le vivant ne produit pas parce que l'évolution ne l'a pas commandé.

Ce champ scientifique qui demeure très en amont de l'application industrielle est probablement un des plus prometteurs du siècle à venir.

Cette discipline peut utiliser des croisements de technologie :

- en fusionnant deux facteurs biologiques pour obtenir des matériaux nouveaux (par exemple une molécule fabricant du fil d'araignée et une molécule tirée des diatomées pour fabriquer de la silice) ;

- en déterminant les processus biologiques de fabrication des matériaux des êtres vivants pour en obtenir d'autres (on utilisera « l'usine » à fabriquer de la silice que sont les diatomées pour produire du titanate de baryum) ;

- en construisant des activités biologiques de fabrication d'un matériau (il est possible en laboratoire de piéger des bactéries dans des gels de silice et d'en utiliser pour produire des molécules à vocation thérapeutique : de même, on peut utiliser ces mélanges minéral-biologique pour piéger des parasites responsables de maladies dans ces matériaux afin de produire des tests de diagnostics ;

- en utilisant les processus biologiques pour produire des micro et nanostructures, qui seront, à terme, en plus demandées dans les processus industriels.

*

*

*

S'agissant de ces deux disciplines, dans lesquelles notre pays avait une avancée non négligeable, on ne peut que regretter qu'elles souffrent des maux chroniques de la recherche française :

- **un sous-financement habituel des disciplines émergentes,**
- **un manque de liens entre la recherche, le développement technologique et l'industrie.**

La mission menée par vos rapporteurs en Allemagne montre le développement accéléré du réseau bionique dans ce pays (biomimétique-bioinspiration) ; ce réseau qui ne regroupait que 6 laboratoires en 2001, en comptait 52 en novembre 2006.

C'est un exemple à méditer.

B. LA NOUVELLE USINE DU VIVANT

Une très grande partie du débat public sur les biotechnologies se concentre sur les domaines de cette activité liés à des problèmes éthiques (transgénèse agricoles, clonage, utilisation des cellules souches à des fins thérapeutiques).

Cela occulte un fait majeur pour le demi-siècle à venir : les biotechnologies vont sortir des laboratoires et entrer à l'usine ; elles deviendront peu à peu un secteur de la production industrielle, avec des applications aussi variées que le sont celles de l'industrie actuelle.

Ce mouvement, on doit le noter, s'est amorcé en dépit d'une connaissance très insuffisante des espèces et des fonctions de la biodiversité qui sont les matériaux de ces biotechnologies. Cela est vrai des bactéries, cela l'est tout autant des champignons. Cette méconnaissance est encore plus marquée pour les organismes marins que pour les organismes terrestres.

Cela signifie qu'il existe un thesaurus potentiel très important pour le développement de la biotechnologie industrielle.

1. Les avantages des biotechnologies industrielles

Les propriétés des bactéries sont utilisées depuis l'aube de la civilisation – notamment celles qui portent sur les fermentations alimentaires.

Mais leur utilisation massive comme substitut ou comme appui à la chimie ouvre des horizons nouveaux.

Par rapport à la chimie traditionnelle, les **biotechnologies** offrent plusieurs avantages :

- elles sont **beaucoup plus économes en énergie** puisqu'elles ne nécessitent pas de thermisation et utilisent des matériaux renouvelables,
- elles sont **beaucoup plus précises** :
 - régio-sélectivité (les enzymes peuvent n'intervenir que sur un seul alcool d'un sucre à transformer),
 - stéréo-sélectivité (l'implantation des produits biologiques peut être senestro ou dextro orientée, à la demande – ce qui présente des avantages dans les productions de composants asymétriques),
 - directivité (les enzymes ne vont faire qu'un seul produit alors que les produits chimiques vont générer des déchets collatéraux plus ou moins importants selon le cas).

2. Les premières utilisations

a) Les bioproductions et les bioconversions

L'utilisation des biotechnologies dans l'industrie repose sur un détournement du fonctionnement du vivant qui consiste à utiliser l'énergie que produisent les micro-organismes à des fins industrielles.

Cette utilisation peut s'effectuer, soit sous la forme bioproduction directe, soit par le truchement d'une bioconversion qui permettra d'accomplir une partie d'un processus chimique.

La plus connue des bioproductions directes est la fabrication de pénicilline. Mais ces bioconversions deviennent de plus en plus sophistiquées : par exemple, on essaiera de faire produire à des bactéries des analogues du terpène des plantes, qui est un alcaloïde aux vertus thérapeutiques. Dans le cas très connu de la pervenche de Madagascar dont on extrait un produit anticancéreux, la vinblastine, des expériences visent à accélérer le développement de cette production en insérant dans des plants de pervenche de Madagascar des précurseurs de la vinblastine.

Les bioconversions constituent déjà un élément de la chimie industrielle puisqu'environ 15 % des processus de cette industrie emploient des bioconversions enzymatiques.

Mais seulement 1 300 de ces bioconversions sont utilisées sur 5 000 identifiées, alors que l'on utilise 10 000 réactions chimiques.

b) Les réalisations et les perspectives

(1) Les réalisations

Dès maintenant, les biotechnologies sont passées au stade industriel.

Dupont de Nemours a installé une usine de production de molécules de synthèse, où les biotechnologies interviennent à plusieurs stades de la production chimique pour produire 500 000 tonnes par an de propanediol (utilisés dans la fabrication du tergal).

Dans certains marchés pharmaceutiques ou agroalimentaires, les processus des biotechnologies se substituent aux processus chimiques. Par exemple :

- pour la production de bêta-carotène sur un marché mondial de 2 milliards de dollars,
- ou, pour la production d'un acide aminé utilisé dans l'alimentation du bétail, sur un marché de 1,5 milliards d'euros.

(2) Les perspectives

Les perspectives d'extension d'emploi des biotechnologies dans l'industrie sont vastes.

Sans pouvoir être exhaustif, au-delà de l'investissement progressif des procédés chimiques de transformation industrielle qui sera peu à peu favorisé par la hausse du prix des carburants fossiles, des avancées fortes sont à attendre dans le domaine de la biotechnologie : **l'utilisation des extrêmophiles, et l'emploi des biotechnologies dans le domaine de la fabrication de l'énergie.**

Les bactéries extrêmophiles fabriquent des molécules dites « **extrêmolytes** » pour protéger leurs cellules des environnements agressifs dans lesquels elles vivent, la production en série d'extrêmolytes ou analogues est déjà utilisée dans les cosmétiques (crème solaire) ; la recherche actuelle porte sur des molécules qui permettront de limiter les effets des chimiothérapies ou d'être employées dans le traitement de maladie de peaux.

Dans le secteur central de l'énergie, beaucoup de recherches biotechnologiques portent sur les énergies nouvelles. On peut donner deux illustrations de mouvement :

- l'INRA de Marseille mène des recherches sur le génome d'un champignon¹ qui dégrade la biomasse de façon accélérée et pourrait accroître fortement les rendements des biocarburants de deuxième génération.
- l'Université de Humboldt à Berlin conduit un programme sur les bactéries hydrogénases permettant de produire de l'hydrogène par biocatalyse, etc..

¹ Ce champignon, le *Trichoderma reesei*, avait été identifié au Vietnam par les Américains car il dégradait de façon accélérée les uniformes des troupes.

A un terme plus lointain, d'une dizaine d'années, **va émerger un champ de recherches biotechnologique sur lequel on peut s'interroger éthiquement où l'on utilisera la biodiversité pour se couper de la nature.**

Maintenant que l'on sait fabriquer de l'ADN synthétique, on peut reprogrammer les processus biologiques d'une bactérie.

L'institut Venter a tout récemment mis en œuvre cette biologie synthétique en transplantant la totalité de l'ADN d'une bactérie dans une autre.

A Boston, les start-up biotechnologiques, détectées par des « business angels » et dotées par de sociétés de capital-risque de centaines de millions de dollars, ne sont pas rares.

On voit l'implication de ce champ de recherches.

Car, si on sait fabriquer de l'ADN synthétique – si l'on sait réécrire le génome entier d'une bactérie, ce qui n'est pas encore fait –, on pourra en modifiant ce génome obtenir des artefacts nombreux fonctionnant sur des catégories réactionnelles (c'est-à-dire des modes de reconnaissance entre atomes) inconnues sur terre.

Ces recherches qui pourraient déboucher d'ici une dizaine d'années devraient en tout état de cause respecter des cahiers des charges très rigoureux (artefacts non invasifs, non délétères et contrôlés). On mesure ici l'importance de conduire ces recherches dans un cadre éthique rigoureux et sous contrôle de la communauté humaine.

C. LES INTERROGATIONS SUR LA BIOPROSPECTION

Même si elle débouche sur les biotechnologies industrielles, la démarche de bioprospection se situe en amont ; elle est aussi très antérieure au développement des biotechnologies.

Scientifiquement, on peut la dater de 1820, date à laquelle Pelletier et Caventou ont extrait la quinine de l'écorce du quinquina.

La bioprospection offre aujourd'hui des potentialités importantes, mais fait également problème, tant du fait d'une équation économique qui n'est pas toujours facile à valoriser, que du biopiratage des ressources auquel elle peut donner lieu.

1. Des potentialités partiellement exploitées

Il n'est pas du ressort de ce rapport d'établir un catalogue des réussites de la bioprospection.

Mais les produits qui en sont issus sont très nombreux dans des domaines industriels comme la cosmétique, l'agroalimentaire, les actions phytosanitaires. Dans le **domaine phare de l'industrie pharmaceutique, on estime que 50 % de notre pharmacopée provient de la diversité du vivant** (de la pervenche de Madagascar au taxol extrait originellement de l'if américain, les exemples abondent dans ce domaine précis). **Mais ces potentialités ne sont encore que très insuffisamment exploitées, leur degré de mise en œuvre reflétant, en négatif, notre faible connaissance de la biodiversité.**

Cela est vrai de la biodiversité terrestre et, en particulier, des espèces tropicales. Cela l'est encore plus de la biodiversité marine.

Par exemple si l'on prend un bilan établi en 2004 par l' « US Committee on Ocean Policy », on observe qu'il y a peu de médicaments issus de la bioprospection océanique, mais qu'il y a beaucoup de projets en cours :

Médicaments liés à la mer

Application	Source originelle	État d'avancement
Pharmacopée		
Médicaments antiviraux	Eponge	Disponible dans le commerce
Médicaments anticancéreux	Eponge	Disponible dans le commerce
Médicaments anticancéreux	Bryozoan	Essais cliniques en phase II
Médicaments anticancéreux	Lierre de mer	Essais cliniques en phase I
Médicaments anticancéreux	Tunïcie	Essais cliniques en phase III
Médicaments anticancéreux	Tunïcie	Essais précliniques avancés
Médicaments anticancéreux	Gastropode	Essais précliniques avancés
Médicaments anticancéreux	Eponge	Essais cliniques en phase I
Médicaments anticancéreux	Eponge	Essais précliniques avancés
Médicaments anticancéreux	Actinomycete	Essais précliniques avancés
Médicaments anticancéreux	Tunïcie	En cours
Médicaments anticancéreux	Eponge	En cours
Agent anti-inflammatoire	Champignon marin	En cours
Agent antifongique	Eponge	En cours
Agent anti-tuberculique	Corail	En cours
Agent anti-HIV	Ascidie (tunïcie)	En cours
Agent antipaludique	Eponge	En cours
Agent anti-dingue	Échinoderme	En cours

(Matériaux biologiques issus d'organismes marins en cours de traitement ou déjà utilisés. Source : rapport. Comité sur la politique océanique des Etats-Unis.)

Cette poussée des actions de bioprospection dans le domaine océanique se reflète également **dans les projets menés par l'IFREMER.**

Cet institut travaille directement ou en liaison avec des PME technologiques sur :

- les exopolysaccharides produits par les bactéries océaniques qui ont des activités biologiques anticancéreuses, une action cardiovasculaire et de régénération tissulaire ;

- les enzymes extraits de micro-organismes marins qui sont à la fois thermostables et capables de résister à de fortes pressions et présentent donc des potentialités industrielles intéressantes.

Dans le domaine de l'exploitation de la biodiversité marine, **l'entreprise Goëmar à Saint-Malo** a produit une molécule tirée des algues qui **est à la fois un biostimulant et un « vaccin » activant les résistances de certaines plantes cultivables aux pathogènes.**

Le Muséum d'histoire naturelle a mis en évidence dans la baie de Concarneau un système symbiotique (éponge – micro-organisme) qui héberge une dizaine de bactéries très actives contre les staphylocoques.

Le Centre de valorisation des algues (CEVA) de Pleubian, en Bretagne, a produit un saccharide non sucrant qui est un additif pour des confitures produites à destination des diabétiques.

Le développement de la bioprospection marine concerne également d'autres domaines industriels. La chitine extraite de la carapace des crustacés peut être utilisée comme absorbant des matières organiques des eaux de piscine, diminuant autour de 80 % l'emploi des désinfectants.

2. Des interrogations nouvelles

a) Une équation économique incertaine

La valorisation de la biodiversité repose sur des retours d'investissement de plus en plus incertains, tout au moins dans le domaine pharmaceutique¹.

A cela, deux raisons.

L'industrie pharmaceutique a exploité les produits les plus immédiatement accessibles, en extrayant des molécules de plantes dont les vertus thérapeutiques étaient connues (c'est avec des moyens beaucoup plus importants la démarche d'extraction de la quinine au début du XIX^{ème} siècle). Or, actuellement, la démarche de bioprospection, ouverte et aléatoire, s'oppose aux protocoles habituels de l'industrie pharmaceutique qui consistent à faire du ciblage moléculaire guidé à grande échelle.

¹ Des secteurs comme la cosmétique ou la parapharmacie ne sont pas soumis aux mêmes contraintes.

Par ailleurs, il existe un problème de coûts qui résulte des précautions dont sont légitimement entourées les autorisations de mise sur le marché de spécialités pharmaceutiques.

Pour fabriquer commercialement des molécules pharmaceutiques, il est nécessaire :

- d'en manipuler 100 000 en recherche initiale pour en obtenir 5 ;

- pour un coût qui peut atteindre un milliard d'euros ;

- et, sur des durées de l'ordre de 7 à 10 ans, auxquelles il faut ajouter de 2 à 4 ans lorsqu'il s'agit de molécules extraites de substances naturelles. Par exemple, dans le cas précis du taxol, entre la découverte des vertus anticancéreuses de l'écorce de l'if américain en 1962 et la production d'une molécule de synthèse en 1995, il s'est écoulé 33 ans.

Ce rapport avantage/coût rend compte en partie du retrait de certaines multinationales pharmaceutiques vis à vis des actes de bioprospection. Mais ce retrait est également commandé par l'insécurité juridique qui peut résulter des actes de défense de certains états contre le biopiratage.

b) La lutte contre le biopiratage

La convention sur la biodiversité conclue au sommet de Rio en 1992 et signée par 168 pays dès novembre 1993 **a essayé d'établir un équilibre entre le droit à la bioprospection internationale assorti d'un droit à breveter et la souveraineté des états sur les ressources tirées de la biodiversité qu'ils hébergent.**

Elle posait également le principe d'un droit à rétribution des communautés indigènes détentrices du savoir lié à l'exploitation de la biodiversité, ce droit restant toutefois à définir.

Sur cette base juridique qui demeure très générale¹, les nations concernées ont développé trois types d'attitudes :

- une attitude de laisser-aller par manque de gouvernance qui facilite le biopiratage ;

- une attitude d'interdiction stricte.

C'est le cas du Brésil qui, jusqu'il y a peu, interdisait même à ses chercheurs de publier sur certains aspects de la biodiversité brésilienne. L'attitude des autorités brésiliennes (justifié par des souvenirs anciens comme le pillage de l'hévéa ou des abus plus récents) s'est récemment assouplie vis-à-vis de ses propres chercheurs, mais pas vis-à-vis des

¹ *Notamment en matière de brevets : si les statuts juridiques du produit et de la molécule extraite de ce produit sont clairs, le statut juridique d'un analogue de cette molécule préserve insuffisamment les états détenteurs de ressources en biodiversité.*

chercheurs étrangers. Par exemple, les muséums européens d'histoire naturelle ont rapporté que les Brésiliens refusaient dorénavant les échanges d'herbiers qui sont pourtant une pratique courante entre botanistes.

- une démarche plus originale développée par le Costa-Rica qui a adopté au début des années 90 une loi sur la biodiversité reposant sur deux principes : il est légal d'utiliser les ressources de la biodiversité (et, en particulier, leurs propriétés biochimiques et génétiques).

Mais cette exploitation doit donner lieu à une demande de prospection de ressource qui doit reposer **sur un plan de répartition des bénéfices éventuels.**

Les négociations ont été confiées à l'INBIO (ONG d'origine gouvernementale) et ont donné lieu à plusieurs accords dans des domaines aussi différents que l'agroalimentaire, la cosmétique, le parfum, les plantes ornementales ou la pharmacie. Le modèle de ces accords est celui qui a été passé avec la multinationale pharmaceutique Merck qui prévoyait :

- des recherches menées sur une aire et sur un nombre d'espèces délimitées ;
- un transfert des technologies de prospection à l'INBIO ;
- un financement des recherches menées par l'INBIO, dont 10 % préfinancées ;
- et, un partage des royalties résultant d'éventuelles utilisations des écosystèmes exploités.

On notera que l'INBIO ne passe des conventions qu'avec des entreprises implantées dans des pays où la situation juridique est assez nette pour lui permettre, le cas échéant, de faire valoir ses droits devant les tribunaux.

Le modèle costaricain paraît assez stable pour être donné en exemple, sur un sujet où l'absence de sécurité juridique – dans un sens comme dans l'autre – nuit à l'extension de la bioprospection et donc, indirectement, à la protection de la biodiversité que cette bioprospection peut financer.

Demeure un point de la convention de Rio qui n'est pas en application au Costa Rica où la population indienne représente moins de 1 % de la population totale : celui de la participation des communautés détentrices des traditions d'utilisation dans la biodiversité tropicale.

Mais cette rémunération des savoirs indigènes est du ressort des états. Par exemple, jusqu'ici la législation brésilienne n'a pas prévu de répartition des ressources financières qui seraient éventuellement fournies par l'utilisation de sa propre diversité.

*Dix propositions pour aller plus loin que
le « Grenelle de l'environnement »*

- I. INTÉGRER LA BIODIVERSITÉ DANS LA MONDIALISATION**
- II. ACTIVER LES EFFORTS DE L'UNION EUROPÉENNE**
- III. METTRE EN PHASE LA PAROLE ET LES PRATIQUES DE LA FRANCE**
- IV. ERIGER LA BIODIVERSITÉ EN PRIORITÉ DE RECHERCHE**
- V. ADAPTER LA FISCALITÉ À LA VALORISATION DE LA BIODIVERSITÉ**
- VI. INSÉRER LES SERVICES RENDUS PAR LES ÉCOSYSTÈMES DANS LE CALCUL ÉCONOMIQUE**
- VII. AMÉNAGER DURABLEMENT LE TERRITOIRE**
- VIII. LANCER UN PROGRAMME DE REDENSIFICATION URBAINE**
- IX. ANTICIPER LE CHANGEMENT CLIMATIQUE**
- X. DÉFINIR UN NOUVEAU CONTRAT SOCIAL AVEC LES AGRICULTEURS**

AVANT-PROPOS

En matière de biodiversité, **il est temps d’agir.**

Et les moyens existent aussi bien pour continuer, peu à peu, à stopper la dégradation des écosystèmes de la planète que pour valoriser durablement la biodiversité afin d’en faire un des leviers de l’évolution de notre mode de développement vers la durabilité.

C’est pourquoi les dix propositions qui suivent ont pour objet d’aller plus loin que le « Grenelle de l’environnement ».

Car les conclusions du Grenelle se sont, assez normalement, concentrées sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre¹, en minorant les effets de la crise de la biodiversité.

Et, parce que trois dimensions très importantes de la préservation des écosystèmes de la planète n’ont pas été clairement mises en évidence :

- l’aspect international de la question,
- la réinsertion des services et utilités fournis par la biodiversité dans le calcul économique,
- **et le rôle de la science et de la technologie pour identifier, protéger et valoriser les écosystèmes de la planète et en faire un support de l’évolution de notre mode de développement vers la durabilité.**

C’est l’objet des dix propositions qui suivent et qui seront **soumises par vos rapporteurs aux groupes de suivi que le Parlement a créé pour veiller à la préparation de la future loi sur l’environnement.**

¹ *Reprenant, à cette occasion, des propositions avancées dans le Tome I de ce rapport : « Changement climatique et transition énergétique : dépasser la crise ».*

I. INTÉGRER LA BIODIVERSITÉ DANS LA MONDIALISATION

Cette exigence prioritaire a deux facettes.

L'une, qui consiste à mettre fin au paradoxe qui fait qu'une réalité planétaire prioritaire **manque de structures de gestion internationales unifiées**, alors que toutes les autres problématiques mondiales en sont dotées (FAO, PNUD, OMC, OMS, etc.).

L'autre, qui repose sur le constat que la mondialisation de l'économie rendra de plus en plus insupportable la juxtaposition d'ensembles économiques vertueux, s'efforçant d'exploiter durablement la biodiversité des écosystèmes et de zones de non-droit la détruisant consciemment, au mépris des règles concurrentielles.

A. UNIFIER LES GESTIONS INTERNATIONALES DE LA BIODIVERSITÉ

La biodiversité n'a pas de porte-parole international.

Actuellement, plus de 500 accords multilatéraux traitent de l'environnement ; de nombreuses organisations agissent dans le domaine de façon non coordonnée (Programme de l'environnement des Nations-Unies, Organisation pour l'agriculture et l'alimentation (FAO), le programme des Nations-Unies pour le développement, Banque Mondiale, l'OCDE, l'UNESCO, etc.).

Il est donc nécessaire, comme la diplomatie française le propose, de **créer une organisation des Nations-Unies** spécialisée dans les problèmes de l'environnement. Il pourrait être proposé de confier à la FAO, dont les activités (agriculture, pêche, forêt) sont très liées au monde du vivant, de prendre en charge au moins dans un premier temps cet organisme nouveau.

Celui-ci aurait trois tâches principales :

1. établir une évaluation systématique et coordonnée de l'évolution des écosystèmes de la planète.

Il s'agirait d'assurer la gestion du futur réseau IMOSEB, qui serait l'équivalent pour la biodiversité du Groupe d'experts intergouvernementaux (GIEC) pour l'observation du changement climatique.

Relier le futur réseau IMOSEB à cet organisme aurait le double mérite de **créer des interfaces claires entre science, d'une part, et politique et opinion mondiale, de l'autre.**

2. mener une action d'unification du droit international de la biodiversité et du contrôle des normes dans ce domaine.

Cette mission a une double vocation :

- unifier et faire progresser le droit international sur la biodiversité et activer le contrôle de l'application de ces conventions ;
- coordonner, promouvoir et attester l'ensemble des labels qui concourent à une exploitation durable de la biodiversité.

3. agir comme une agence de moyens en fédérant l'ensemble des actions internationales menées en faveur de la biodiversité, en particulier dans les pays en voie de développement. Cette action pourrait s'appuyer de façon plus systématique sur les grandes ONG internationales qui seraient garantes de la bonne fin des projets.

B. VALORISER LA BIODIVERSITÉ DANS LES MÉCANISMES DE LA MONDIALISATION

La biodiversité (forêt, océans, agriculture, biocarburants) produit des biens proposés à l'échange international. Ces ressources constituent un **produit intérieur brut mondial gratuit** de même ampleur (environ 35 000 milliards de dollars) que celui généré par les activités humaines.

Mais aucune des règles qui gouvernent le commerce international n'incorpore dans le calcul économique les coûts des externalités négatives qu'entraîne la dégradation des espaces et des ressources naturelles qui permettent de fournir ce produit intérieur brut gratuit.

Au contraire même, la mécanique de la mondialisation fondée sur l'échange des facteurs de production aux prix les plus bas possibles pousse ici à la surutilisation de ressources naturelles dont la disponibilité n'est plus totalement acquise et le sera de moins en moins.

Trois voies pourraient être explorées pour freiner cette mécanique de prédation.

1. Activer la protection de la forêt tropicale dans les mécanismes de Kyoto II

La protection des forêts tropicales procède d'une double exigence : conserver les puits à carbone qu'elles constituent et préserver la biodiversité qu'elles hébergent.

Actuellement, les mécanismes de Kyoto y contribuent, mais partiellement, par les « mécanismes de développement propre » (MDP) destinés aux pays en voie de développement. Ceux-ci ne rendent éligibles au marché des émissions que les actes professionnalisés de déboisement/reboisement. Mais ces MDP excluent les actions portant sur la conservation des forêts existantes. L'éligibilité de ces actions au mécanisme de Kyoto permettrait aux entreprises des pays adhérents de **financer des projets de conservation de la forêt tropicale.**

Il serait même possible d'affiner le dispositif en affectant des coefficients plus importants aux projets de protection des zones forestières plus particulièrement menacées (Sud-Est asiatique, ensemble des forêts tropicales sèches, ...).

2. Création d'une taxe sur les échanges internationaux de produits non certifiés

Sous réserve de création de labels certifiés avec des garanties de traçabilité (ce que permettraient les RFID pour le bois), il serait souhaitable de créer une taxe internationale sur le transport de produits issus de la biodiversité et non-certifiés.

On ne peut dissimuler les difficultés concrètes de mise en œuvre de cette mesure qui exige une organisation internationale unifiée de la labellisation, le consensus de pays très réticents et, probablement, une modification des règles de l'OMC. **Cette initiative pourrait cependant constituer une première étape de valorisation significative du respect de la biodiversité dans les échanges économiques internationaux.**

3. Multiplier les échanges dette/nature.

Les remises de dettes accordées aux pays en voie de développement se font généralement sans contrepartie.

Le mécanisme dit de l'échange « dette-nature » permettait d'utiliser ces remises à des actions de préservation de la diversité.

Le mécanisme est le suivant. En contrepartie de la remise de dette accordée, le pays débiteur réserve une partie de celle-ci **en monnaie locale à un fonds, géré par une ONG et dédié à des actions de protection sur son territoire.**

Sur la base d'un texte relativement récent (le « Tropical Forest Conservation Act » de 1998), les États-Unis mènent déjà une action de ce type.

II. ACTIVER LES EFFORTS DE L'UNION EUROPÉENNE

L'Union européenne mène des actions intéressantes dans le domaine de la biodiversité : directives sur l'eau, directives « Natura 2000 », programme de recensement de la flore européenne, deuxième partie de la politique agricole commune, etc.

Mais, ces politiques, utiles, doivent être amplifiées.

A. PROCLAMER UN MORATOIRE SUR LES BIOCARBURANTS

L'objectif européen d'inclure, d'ici 2012, 5,75 % de biocarburants dans les combustibles automobiles partait d'une excellente intention. Mais **s'appliquant à des technologies dont le bilan carbone reste très discutable, sa réalisation a eu des effets pervers tant sur la biodiversité européenne que sur la biodiversité mondiale.**

En Europe, cette politique a eu pour conséquence d'activer le forçage des sols et, dans certains cas, d'aboutir à la suppression des mesures qui avaient été établies pour préserver la biodiversité des milieux agricoles. Ainsi, en France, on a supprimé l'obligation de maintenir les bandes enherbées aux abords des champs de colza situés près des ruisseaux, pour accroître les surfaces destinées à la production de biocarburant.

A l'extérieur de l'Europe, cette poussée de demande de biocarburants a été un des facteurs d'accélération de la déforestation tropicale, en particulier dans le Sud-Est asiatique.

Il semble donc souhaitable de proclamer un moratoire européen sur la progression de l'utilisation des biocarburants après 2012, en attendant la maturité des biocarburants de deuxième génération (catalyse enzymatique de la filière ligno-cellulosique) ou de troisième génération (micro-algues).

B. RENFORCER LE PILIER ENVIRONNEMENTAL DE LA POLITIQUE AGRICOLE COMMUNE

Les mesures environnementales, dites du deuxième pilier, ne représentent actuellement que 10 % du montant de la politique agricole commune.

Face à la perspective d'une réduction des sommes consacrées à la politique agricole commune, il sera nécessaire de consolider le volume consacré aux dépenses agro-environnementales de l'Union européenne.

A cet égard, le mouvement de hausse durable du prix des matières premières agricoles qui s'amorce pourrait être l'occasion d'accroître ce volume d'aide, en raison de la réduction du coût des soutiens aux marchés.

On doit même souhaiter qu'à l'occasion du bilan de la réforme de la PAC qui sera effectuée sur 2008-2009, on puisse réaffecter, au second pilier, une partie des excédents budgétaires créés par l'actuelle baisse de coût des soutiens au marché.

C. AMPLIFIER L'EFFORT DE RECHERCHE SUR LES CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'effort de recherche sur les conséquences du changement climatique sur les équilibres de la biodiversité faunique et floristique européenne devra être amplifié à l'occasion du 8ème PCRD et notamment :

- en mettant en œuvre le programme « Lifewatch » déjà mentionné, qui vise à installer, de la période 2014-2032, 50 observatoires terrestres et 50 observatoires marins de surveillance de la biodiversité européenne ;

- en appuyant les projets de recherche sur la scénarisation des effets du changement climatique et d'adaptation des écosystèmes à ce changement ;

- et, en lançant un **programme de recherche complet sur les conséquences du changement climatique sur la façade méditerranéenne** de l'Europe, dont on rappellera qu'elle constitue à la fois un « point chaud » de la biodiversité mondiale et la zone de l'espace européen la plus menacée par la désertification qui s'annonce dans les prochaines décennies.

D. METTRE EN PLACE UNE LABELLISATION EUROPÉENNE DES PRODUITS ISSUS DE LA BIODIVERSITÉ

Dans deux domaines où la biodiversité est particulièrement menacée, les bois tropicaux et la pêche océanique¹ (rappelons que 7 % seulement des pêches océaniques sont certifiées durables), il serait souhaitable que l'Union européenne assure la promotion d'une unification des labels.

Ces labels pourront ultérieurement faire l'objet de négociations auprès de l'OMC pour valoriser l'exploitation durable de la biodiversité dans le commerce mondial (cf. supra proposition I.B).

¹ et de leurs substituts aquacoles.

E. ENGAGER UNE RÉFORME DE LA POLITIQUE EUROPÉENNE DES PÊCHES

La politique de quotas de prise par espèces mise en œuvre par l'Union européenne patine.

D'une part, elle est très peu respectée par l'ensemble de la filière.

D'autre part, elle a abouti à un suréquipement des flottes, à une course à la ressource disponible, à une montée des prises accessoires et à une prédation accentuée des espèces non réglementée.

Il serait souhaitable qu'un infléchissement fort de cette action soit conduit. Principalement dans quatre directions :

- encourager un effort de recherche sur le développement d'une aquaculture en circuit fermé et faiblement dépendant d'un nourrissage issu des pêches minotières ;

- mettre en place un programme technologique permettant de limiter les prises accessoires ;

- développer et promouvoir les labels de pêches durables (qui permettent à la ressource de se renouveler) et de pêches responsables (dont les cahiers des charges contrôlés interdisent aux flottes les prises illégales).

- faire l'expérimentation sur quelques espèces halieutiques de systèmes de quotas de pêche mis aux enchères et rétrocessibles qui inciteront les attributaires à gérer les ressources en « bon père de famille », sans remettre en cause le principe global de gestion par pêcherie.

III. METTRE EN PHASE LA PAROLE ET LES PRATIQUES DE LA FRANCE

La **parole internationale de notre pays sur le problème de protection de l'environnement est forte** dans l'affirmation des principes (cf. « la maison brûle » du sommet de Johannesburg) ; elle porte aussi des propositions concrètes intéressantes (réseau mondial d'observation de la biodiversité, création d'un organisme spécialisé de l'ONU dédiés aux problèmes de protection de l'environnement).

Sa pratique interne est plus faible.

L'écart qui existe entre nos intentions et notre pratique devra donc être rectifié pour que notre pays soit irréprochable afin d'être crédible.

Sans que la liste qui suit soit exhaustive, **plusieurs actions pourraient y contribuer.**

1. Mieux recenser et protéger la biodiversité ultramarine de la France

La richesse du domaine ultramarin de la France (deuxième domaine maritime mondial, richesse de la Guyane, endémisme de La Réunion et de la Nouvelle-Calédonie) confère à notre pays une responsabilité particulière dans ce domaine.

Trois types d'actions doivent être poursuivies :

- activer le recensement et la conservation in et ex situ des espèces ultramarines qui font partie des points chauds de la biodiversité, du fait de leur variété et de leur endémisme ;
- prendre des mesures de protection de ces milieux. Cette action devrait concerner :
 - l'extension des réserves côtières qui existent,
 - et, la suppression des excès de l'exploitation minière en Nouvelle Calédonie et en Guyane. Sur ce point, les propositions du « Grenelle de l'environnement » qui visent à rendre l'activité minière de l'outre-mer exemplaire (élaboration de schémas d'aménagement minés avec mise aux normes des installations classées, éradication de l'orpaillage illégal) vont dans le bon sens mais doivent se traduire sur le terrain.

Il reviendra au Parlement de surveiller cette évolution.

- utiliser le Fond français pour l'environnement mondial. Ce fonds doté de 15 millions d'euros sur quatre ans joue un rôle utile ; il a permis d'infléchir les pratiques de l'association française pour le développement (AFD) vers des projets d'aide plus centrés sur la durabilité.

Mais le paradoxe est qu'il ne peut pas être utilisé pour des projets soutenant les biodiversités dans notre domaine ultramarin, alors que celui-ci est un des plus riches au monde.

Il serait nécessaire de rectifier cet état de fait, en abondant ce fonds – ce qui peut être fait en dérivant par une partie des sommes quatre fois plus importante que nous consacrons par ailleurs au « Global environmental facility fund » de la Banque mondiale.

2. Appliquer les accords internationaux conclus par la France

Sur un certain nombre de secteurs, la France a conclu des conventions internationales qu'elle n'applique pas.

Une mise au net semble indispensable dans les domaines suivants :

- l'application des **accords sur les thonidés** signés au sein de la commission des pêches en Méditerranée installée auprès de la FAO. Les scientifiques estiment – mais la France n'est pas le seul pays défaillant – que **les prises effectives sont deux fois plus fortes que les prises autorisées¹** ;
- l'introduction en droit interne des dispositions de la convention de 2004 de l'OMI sur le déballastage. Les textes d'application de cette convention, dont l'objet est de limiter la diffusion des espèces invasives marines, sont en attente ;
- la désignation d'autorités chargées d'appliquer certaines conventions. Il en est ainsi :
 - de la convention sur la biodiversité ;
 - de la convention de 2004 sur les ressources génétiques pour l'agriculture et l'alimentation de la FAO.

3. Renforcer notre effort dans certains domaines de coopération internationale

La France devrait ainsi :

- augmenter de façon significative le montant de sa participation au Gibif, organisme installé auprès de l'OCDE qui mène une action très importante pour l'harmonisation et l'accessibilité des connaissances sur la biodiversité floristique mondiale,

¹ *La France a très récemment entamé une évolution sur ce point.*

- participer au fond fiduciaire de la FAO, destiné à la conservation de la diversité culturelle des semences dans le monde.

4. Etayer et élargir notre dispositif de conservation des ressources génétiques cultivables

a) Etayer le dispositif

La nécessité de conserver des ressources cultivables variées est un des corollaires d'une agriculture plus durable et une sécurité biologique en raison du changement climatique.

Cette tâche, en partie assurée par le secteur privé, l'est aussi par les Bureau des ressources génétiques (BRG), créé en 1983. Celui-ci est chargé de constituer des réseaux entre les obtenteurs de variétés végétales, les recherches publiques et les collectionneurs privés pour :

- identifier le patrimoine,
- faciliter les échanges entre tous les réseaux de conservation ;
- et améliorer la conservation de ces ressources pour constituer des collections nationales mises à la disposition de tous les acteurs.

Mais les ressources du BRG diminuent, alors même que l'apport de l'INRA est en régression sur ce point.

Avec une double conséquence :

- pour certaines espèces, comme la pomme de terre, il n'y a pas de catalogue national,
- la convention de la FAO sur les ressources génétiques pour l'agriculture et l'alimentation nous fait obligation de répertorier les ressources génétiques pouvant faire l'objet d'un échange international. Faute de référent national et de moyens, cette disposition reste inappliquée.

b) Elargir le dispositif

Le catalogue qui regroupe l'offre des obtenteurs de variétés végétales de plantes cultivables ne comprend plus, depuis 1961, les espèces anciennement cultivées en France.

Cette évolution s'explique par la protection du consommateur, car ces espèces ne correspondent pas toujours aux trois critères d'inscription au catalogue officiel (Distinction – Homogénéité – Stabilité).

Certes, un catalogue d'espèces anciennes, reposant sur une critérologie moins exigeante, est ouvert aux « jardiniers du dimanche ». Mais

il demeure interdit aux cultivateurs professionnels qui doivent, paradoxalement, acheter ces semences anciennes à l'étranger.

Il serait donc souhaitable de faire gérer par le BRG un répertoire de semences anciennes, hors certification d'obtention végétale, et ouvert à tous.

IV. ERIGER LA BIODIVERSITÉ EN PRIORITÉ DE RECHERCHE

La recherche et les chercheurs ont été insuffisamment impliqués et sollicités par le « Grenelle de l'environnement » consacré au développement durable.

Cette absence est regrettable car la science et la technologie sont un des leviers du passage de nos économies à la durabilité.

Au-delà de cette observation générale, on fera observer que, si le développement durable constitue une des priorités de recherche de notre pays, l'effort de recherche sur l'identification, la protection et la valorisation de la biodiversité n'est probablement pas assez systématisé dans la mise en œuvre de cette priorité de recherche.

A. RENFORCER L'IDENTIFICATION DE LA BIODIVERSITÉ DES ESPÈCES ET DES ÉCOSYSTÈMES.

Celle-ci est largement le fait de nos organismes de recherche (Muséum national d'histoire naturelle, Génoscope d'Evry, CIRAD, IRD, IFREMER), qui bénéficient d'une réelle reconnaissance internationale.

Nos moyens opérationnels doivent être maintenus sur ce plan. Y compris ceux de l'IFREMER qui joue un rôle essentiel de l'observation des milieux côtiers et océaniques. **Or, les moyens opérationnels de cet organisme sont l'objet d'une érosion depuis plusieurs années.**

Par ailleurs, il est nécessaire de renforcer, en particulier dans la perspective du changement climatique, notre effort de connaissances des interfonctionnalités des écosystèmes. Or, il apparaît que, dans beaucoup de cas, les réponses aux appels d'offres de l'ANR sur la biodiversité sont plus centrées sur l'identification des espèces que sur le fonctionnement des écosystèmes. **Une réorientation devra être opérée sur ce point.**

B. ACTIVER LA MISE EN ŒUVRE DES TECHNOLOGIES ET LE CONTRÔLE DE LA PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ

La mise en place progressive à l'échelle internationale des certifications d'exploitations durables de la biodiversité devra reposer sur une efficacité des contrôles.

Le progrès technologique peut fortement contribuer à l'efficacité de ces contrôles :

- traçabilité des grumes de bois grâce à un étiquetage RFID,
- observation en temps réel par photographies satellitaires des grands ensembles forestiers pour localiser les actions de déforestation illégales,

- systèmes d'observation, dont l'un est mis en place par la société Findus pour surveiller l'application des cahiers des charges de pêche responsable qu'elle a conclus avec les pêcheurs, permettant de tracer les flottes de chalutiers, d'estimer leur temps et leur processus de pêche.

Compte tenu du succès commercial potentiel de ces actions de labellisation, les technologies de contrôle vont devenir un enjeu économique non négligeable.

La question se pose donc de trouver des modes de préfinancement du développement de ce type de programmes. Cela pourrait s'effectuer par le lancement d'appels d'offres conjoints de l'Agence nationale de la recherche et de l'Agence pour l'innovation industrielle – éventuellement en coopération avec les états qui pourraient être intéressés par le développement de ces technologies.

C. VALORISER L'ENJEU SCIENTIFIQUE ET ÉCONOMIQUE DE LA BIODIVERSITÉ

Comme cela a été souligné en troisième partie de ce rapport, la valorisation de la biodiversité des écosystèmes sera un des ressorts de la quatrième révolution industrielle.

Accompagner dans certains cas, anticiper ce mouvement dans d'autres est donc essentiel pour l'avenir.

Trois types d'actions devraient y contribuer :

- ***Développer l'ingénierie écologique***

En fonction des objectifs de réinsertion dans l'économie des services écologiques rendus par les écosystèmes, d'anticipation des effets du changement climatique et de mise en place d'une agriculture plus durable (cf. infra Proposition X), il serait souhaitable de poursuivre les expériences menées sur les fonctionnalités des écosystèmes (comme celles effectuées sur les prairies à l'INRA de Clermont Ferrand) et d'intensifier un effort d'équipement (du type de l'Ecotron de Montpellier) tourné vers le **développement de l'ingénierie écologique ;**

- ***Consolider les recherches en biomimétisme et bioinspiration***

Les recherches menées en **biomimétique et en bioinspiration** dont beaucoup sont encore au stade précompétitifs devraient être fédérées en réseau : de 9 implantations en 2001, l'Allemagne est passé à un réseau réunissant 42 implantations en 2006. **Une action forte de l'ANR serait souhaitable dans ce domaine**, préalablement à la constitution d'un pôle de compétitivité dans ce domaine.

- ***Créer un institut Carnot scientifique aux biotechnologies***

Les biotechnologies industrielles qui seront une des assises de la prochaine révolution industrielle font l'objet des recherches de plusieurs pôles de compétitivité dont le principal est installé à Lyon.

Il serait intéressant afin d'assurer une transversalité de ces recherches, **de fonder un institut Carnot chargée d'établir des synergies de développement entre ces pôles.**

V. ADAPTER LA FISCALITÉ À LA VALORISATION DE LA BIODIVERSITÉ

La fiscalité n'est pas neutre vis-à-vis de la biodiversité.

Par exemple, taxer au même taux le foncier non bâti, le foncier bâti et les activités professionnelles alors que la rentabilité est plus faible, constitue une distorsion de traitement. L'instrument fiscal a été utilisé pour encourager l'activité plutôt que pour promouvoir le respect des écosystèmes.

Il serait souhaitable d'entamer maintenant une réflexion sur l'environnement fiscal des milieux naturels. Compte tenu du caractère toujours délicat des modifications des équilibres fiscaux, en particulier locaux, **on pourrait nommer un parlementaire en mission pour faire des propositions sur ce point.**

A titre indicatif, **les pistes suivantes pourraient être explorées :**

- réexaminer les encouragements fiscaux à l'artificialisation des milieux naturels,

- réduire la pression fiscale sur les milieux naturels. Par exemple, il devrait être possible de mettre en œuvre des exonérations totales ou partielles :

- sur les zones humides ;
- sur les espaces naturels à statut de protection strict ;
- sur les espaces dévolus à l'agriculture biologique ;
- sur les prairies naturelles.

- favoriser l'utilisation et la fiscalité locale pour ralentir l'étalement urbain ;

- inciter, en utilisant l'impôt sur le revenu et, éventuellement, l'impôt sur la fortune, à la restauration des espaces naturels,

- utiliser les dotations de financement des collectivités locales dans un sens favorisant les biodiversités. L'inclusion d'un critère biodiversité dans le calcul de la dotation globale de fonctionnement (DGF), proposée par le groupe de travail n° 2 du Grenelle de l'environnement va dans ce sens. Mais, il faut aller plus loin en considérant la constitution d'espaces protégés par les collectivités locales comme un investissement au même titre que la rénovation d'un lycée ou la construction d'une route; **c'est pourquoi la dotation globale d'investissement (DGI) devrait aussi inclure un critère « biodiversité ».**

VI. INSÉRER LES SERVICES RENDUS PAR LES ÉCOSYSTÈMES DANS LE CALCUL ÉCONOMIQUE

Du fait de leurs caractéristiques, les services rendus par les écosystèmes (utilité collective et temps long de reconstitution qui s'opposent aux appropriations particulières et aux temps courts du marché) ne sont pas ou peu intégrés au calcul économique.

Deux types de propositions pourraient contribuer à cette intégration : rémunérer les économies externes que produisent les écosystèmes et sanctionner leurs destructions, et, créer un marché de la compensation des atteintes aux milieux naturels.

A. RÉMUNÉRER LES ÉCONOMIES EXTERNES PRODUITES PAR LES ÉCOSYSTÈMES ET SANCTIONNER LEURS DESTRUCTIONS

Le paradoxe des services rendus par les écosystèmes est que leur appropriation collective n'est pas rémunérée – ou peu – et que leur destruction à des fins particulières n'est pas – ou peu – sanctionnée. L'insertion de ces services dans le calcul économique suppose une rectification sur ces deux points.

1. Rémunérer les services écologiques

Hors les puits à carbone, deux grandes catégories de services rendus par les écosystèmes pourraient faire l'objet d'une rémunération directe : les services agronomiques et les services hydrologiques¹.

La reconnaissance du rôle des services agronomiques des écosystèmes peut s'effectuer dans le cadre d'une évolution vers une agriculture plus durable (cf. infra Proposition X).

En revanche, l'ensemble des services hydrologiques rendus par les écosystèmes naturels (zones humides, forêts de bassins versants, système bocages) pourraient faire l'objet d'une rémunération directe par les bénéficiaires ou les utilisateurs de l'eau.

L'utilité de la rétention, de la filtration et de la régulation du débit des eaux que fournissent les milieux naturels (au-dessus naturellement d'un certain seuil de superficie – le bois plutôt que le bosquet, le pays bocager plutôt que le bois) doit être quantifiées et rémunérées par les agences de bassin.

¹ Ce qui n'exclut pas qu'à terme, on puisse trouver des méthodes pour rémunérer les services sanitaires.

A cette fin, on peut s'appuyer sur le bilan économique positif des réserves de biodiversité protégeant les zones de captage d'eau, évitant le coût de traitements onéreux.

On peut ainsi citer le rôle que joue, en amont de Paris, des zones humides dont le remplacement par des barrages réservoirs occasionnerait des dépenses d'équipement de l'ordre de 200 millions d'euros.

De même, compte tenu du coût des inondations que la croissance des événements climatiques extrêmes risque de multiplier, la reconstitution de zones humides en amont des sites inondables pourrait être financée par une taxe sur les contrats d'assurance conclus pour compenser ce type de risques.

Les sommes ainsi perçues pourraient permettre d'amorcer l'intégration des services écologiques dans le calcul économique et de reconstituer les milieux naturels, notamment en contribuant à l'installation de parcs hydrologiques situés en amont des bassins versants.

2. Instaurer progressivement le principe pollueur-payeur

La destruction des milieux naturels à ces fins économiques privées limite les services d'utilité collective qu'ils rendent.

L'instauration **progressive d'une taxe pollueur-payeur** (assise notamment, mais pas exclusivement, sur la production de produits chimiques, d'engrais et de produits phytosanitaires) valoriserait, *a contrario*, le respect de la biodiversité dans le calcul économique.

Cette mise en œuvre d'une dose de fiscalité, aurait en outre l'intérêt d'être **un aiguillon financier en vue d'une mutation des processus de production, agricoles et industriels vers plus de durabilité.**

B. CRÉER UN MARCHÉ DE LA COMPENSATION DES ATTEINTES AUX MILIEUX NATURELS.

Depuis la loi de juillet 1976 sur l'environnement, les projets d'aménagement doivent prévoir, au-delà d'un certain seuil financier, des compensations aux atteintes aux milieux naturels que leur réalisation entraîne.

Mais, en dépit de la force de ce principe, l'application de ces dispositions n'a pas donné le résultat escompté.

D'une part, parce que le texte de référence demeure incomplet ; d'autre part, parce que ces compensations s'opèrent au coup par coup, il manque un mécanisme d'interface permettant de regrouper celles-ci. Il est

donc nécessaire à la fois d'améliorer la loi de 1976 sur l'environnement et de créer un marché de la compensation des atteintes aux milieux naturels.

1. L'amélioration de la loi de juillet 1976 sur l'environnement

A l'expérience, le dispositif législatif de compensation applicable a montré certaines insuffisances qu'il conviendra de rectifier :

- il ne s'applique qu'aux projets d'une certaine ampleur et ne prend pas en considération **le mitage des milieux naturels qui résulte de la multiplication de microprojets** ;

- l'autorité chargée d'apprécier les compensations proposées par les aménageurs est le préfet de région, à l'exception de projets de dimension nationale qui relèvent du ministre chargé de l'environnement. Or, dans sa circonscription, le préfet doit gérer des intérêts contradictoires qui ne le portent pas toujours à arbitrer en faveur des milieux naturels ;

- les délais de la compensation sont circonscrits à la durée de réalisation du projet d'aménagement considéré. Postérieurement à cette durée, l'aménageur est libre de l'affectation du bien offert en compensation (zone humide, espaces de reforestation) qui peut alors être détruit par un nouvel acquéreur.

- la compensation ne prévoit pas la prise en charge de la gestion des biens offerts en compensation. Or, les milieux naturels doivent être surveillés et gérés.

Sur chacun de ces points, une évolution de la loi est souhaitable.

2. Créer un marché de la compensation des atteintes aux milieux naturels

Ce marché ne peut constituer à lui seul un instrument de gestion de la biodiversité. Des mécanismes réglementaires rigoureux sont indispensables. Pour autant, il ouvre une perspective qui doit être explorée.

Ce type de marché existe aux Etats-Unis, en particulier dans le domaine de la restauration des zones humides où des chambres de compensation (« Mitigation Banks ») gèrent un marché de l'ordre d'un milliard de dollars chaque année.

Les modifications proposées ci-dessus de la loi de 1976 permettraient d'activer un tel marché pour obtenir une véritable neutralité écologique du développement (c'est à dire en éliminant les pertes nettes

d'espaces naturels, au lieu que 60 000 ha disparaissent chaque année en France).

A l'aide de la mise au point de grilles de compensation opposables juridiquement et fondées sur l'établissement d'une unité de compte ayant un équivalent financier, « l'unité de biodiversité¹ », ce marché présenterait l'intérêt :

- **de mutualiser des moyens sur des enjeux clés** pour permettre des actions de plus grande envergure et de plus grande cohérence écologique, le système d'unité de compte permettant d'intégrer les plus petits projets qui ne sont pas l'objet de compensation ;

- **de garantir un financement à long terme** pour la restauration et la conservation des milieux naturels dans la durée ;

- **de permettre aux entreprises d'inclure, les coûts de biodiversité dans leurs actifs**, ce qui pourrait être le levier d'un véritable mécénat privé dans ce domaine ;

- et, de faire financer à l'avance des projets de compensation des atteintes aux milieux naturels, compensations qui seraient ultérieurement revendues, en tout ou partie, à des maîtres d'ouvrage dont les projets devront faire l'objet d'une compensation écologique.

La Caisse des dépôts qui est le principal opérateur du marché des émissions de CO2 pourrait être chargée de l'organisation de ce marché dans le cadre d'une mission inspirée par l'intérêt général à long terme.

¹ *Qui serait l'homologue de la tonne de CO2 pour le marché des émissions de carbone.*

VII. AMÉNAGER DURABLEMENT LE TERRITOIRE

Introduire dans le quotidien de l'aménagement des territoires les dimensions de la biodiversité en stabilisant la consommation sociale d'espaces naturels est une exigence.

Sur ce point, les propositions du « Grenelle de l'environnement » consistant à doter l'Etat et les collectivités d'un instrument juridique nouveau permettant d'atteindre cet objectif semblent pertinentes :

- élaborer un plan de « trame verte » national à l'horizon 2009-2012 ;
- construire un cadre de référence nationale : cartographie des grands ensembles écologiques, établissement de méthodes d'élaboration régionale, pilotage concerté avec les régions ;
- instaurer une compétence spécifique des régions en matière de planification écologique de l'aménagement du territoire ;
- rendre opposable aux documents d'urbanisme cette planification écologique du territoire ;
- et introduire un critère de biodiversité et de réalisation de la trame verte dans le calcul de la dotation globale de fonctionnement.

Mais ce dispositif de caractère presque uniquement juridique ne peut prendre une dimension dans la durée que s'il est accompagné de dispositions permettant de reconsidérer la conservation de biodiversité dans l'économie (cf. supra Proposition V « insérer les services rendus par les écosystèmes dans le calcul économique » et infra Proposition X « poser les bases d'un nouveau contrat social avec l'agriculture »).

Il faut aller plus loin. Nous proposons d'intégrer la prise en compte de la biodiversité dans l'ensemble des dispositifs contractuels entre les collectivités locales, mais aussi entre l'Etat et ces dernières. Nous préconisons à cet effet la **mise en place de la « conditionnalité environnementale » dans l'établissement des contrats impactant l'aménagement du territoire.** Nous proposons de même la prise en compte de la préservation de l'environnement et singulièrement de la biodiversité, dans le calcul des fonds d'Etat destinés aux collectivités territoriales, DGF et DGE.

VIII. LANCER UN PROGRAMME DE REDENSIFICATION URBAINE

L'opposabilité future des cartographies régionales d'aménagement du territoire aux documents d'urbanisme (SCOT, PLU) permettra de limiter le mitage des espaces naturels par le développement urbain.

Mais, aujourd'hui, des facteurs démographiques et sociaux impriment une poussée à la demande de construction de logements neufs.

Ce qui signifie, *a contrario*, que ces deux objectifs contradictoires ne peuvent trouver une solution commune que dans un programme de redensification urbaine.

Une loi d'orientation devra en fixer les voies et les moyens.

Et notamment :

- prévoir que les documents d'urbanisme comprennent des indicateurs environnementaux dont la consommation d'espaces naturels ou non;

- inclure dans ces documents d'urbanisme des zones de densification prioritaire,

- y faire figurer des projets d'utilisation des friches urbaines,

- et infléchir l'environnement financier de l'urbanisme opérationnel dans un sens favorable à la densification urbaine :

- lier la délivrance des aides des régions et des départements et la densification urbaine,
- favoriser fiscalement les programmes de reconstruction permettant de redensifier les milieux urbains,
- supprimer les versements pour dépassement de coefficients d'occupation des sols.

IX. ANTICIPER LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique dont on commence à percevoir les effets aussi bien sur les milieux naturels que sur les variétés cultivables **aura des conséquences beaucoup plus lourdes dans les prochaines décennies.**

L'impact d'une hausse de températures moyennes est un des aspects de la question. Le régime et la localisation des précipitations automnales et surtout vernales (ces dernières conditionnant la maturation des plantes) en est un autre. On rappellera, par exemple, que les observations effectuées par l'ONF ont montré que beaucoup d'essences forestières avaient fortement subi les conséquences de la sécheresse de 1976. La reproduction en fréquence de ce type de phénomènes fait malheureusement partie des hypothèses retenues par les experts.

Comment pourra-t-on anticiper ces phénomènes et en tempérer les effets ?

Plusieurs propositions pourront y concourir :

a) La nomination auprès du ministre du développement durable, d'un **délégué au changement climatique** qui aurait pour charge de faire prendre en compte par les administrations concernées les mesures d'adaptations et d'anticipations nécessaires.

b) Le lancement de programmes d'études in situ et de modélisations prédictives pour mesurer l'évolution des écosystèmes au regard des événements climatiques qui se préparent.

c) L'établissement de corridors de migration pour faciliter la trame verte proposée par ailleurs.

Cette action doit également être mise en œuvre en milieu urbain et périurbain en généralisant une initiative déjà appliquée dans certaines villes de Bretagne, le maintien de friches libres dans le tissu d'espaces verts urbains, y compris les jardins privatifs¹.

d) L'expérimentation d'implantation artificielle des essences forestières menacées par le changement climatique – en portant une attention particulière à l'état des sols qui est un des facteurs de stimulation de la résistance des arbres aux pressions de l'environnement.

e) La mise en place d'une **capacité d'identification et d'éradication rapide des espèces invasives** dont l'extension va être facilitée par le changement climatique. La mission de gérer ce réseau pourrait être confiée à l'Institut française de la biodiversité (IFB).

¹ L'association Vivarmor a ainsi créé, dans le Grand Ouest, 432 ha de refuges sur les terrains des collectivités et dans les jardins particuliers.

f) La création d'un conservatoire in et ex situ des essences de la zone méditerranéenne qui est à la fois une réserve mondiale de biodiversité et un des espaces les plus menacés par les troubles de l'hydrosphère.

X. DÉFINIR UN NOUVEAU CONTRAT SOCIAL AVEC LES AGRICULTEURS

L'agriculture a répondu, avec les conséquences que l'on mesure aujourd'hui, aux missions que lui a confiées notre société. Aujourd'hui, il est indispensable de faire évoluer ces missions.

Les dégâts infligés aux écosystèmes terrestres et aquatiques par une agriculture fondée sur le forçage du sol sont évidents. Mais il serait souhaitable qu'à un terme des deux décennies, ce type d'agriculture évolue car l'assise de son développement n'est pas solide et risque d'être remis en cause : appauvrissement progressif des sols, développement des biorésistances aux ravageurs, augmentation à venir du prix des nitrates parallèlement à celle du gaz naturel dont ils sont extraits.

Dans le même temps, on doit souligner que l'effort de productivité agricole de notre pays a été nécessaire et qu'il convient de maintenir un haut niveau de production agricole face à la croissance annoncée de la démographie mondiale, faute de quoi la destruction de la seule réserve planétaire de terre utilisable (les forêts tropicales), serait inéluctable.

Ces deux exigences sont en apparence contradictoires, mais elles peuvent être conciliées en passant un nouveau contrat social avec l'agriculture française portant simultanément sur deux évolutions : la mise en œuvre d'une agriculture de précision et la conciliation de la production agricole et de la protection des écosystèmes.

L'évolution récente de l'opinion publique et la perception des enjeux environnementaux par les agriculteurs ouvrent des perspectives réelles au débat et à la réorientation volontariste des missions de l'agriculture.

A. LA MISE EN OEUVRE D'UNE AGRICULTURE DE PRÉCISION

Un des regrets que l'on peut concevoir, a posteriori, des structures d'organisation du « Grenelle de l'environnement », est la quasi-absence des chercheurs.

Cette lacune est d'autant plus déplorable que la recherche et la technologie sont un des ressorts de l'évolution de notre modèle de développement vers la durabilité.

Il ne suffit pas d'établir un plan de limitation de l'emploi des nitrates et des pesticides, ou d'aller vers une taxation de ceux-ci pour asseoir le principe pollueur-payeur, comme le suggère par ailleurs ce rapport, il est également nécessaire de proposer une alternative à cet emploi.

L'agriculture de précision est un substitut au forçage agricole de la nature.

Elle constitue à épouser et à optimiser les processus naturels.

Aussi bien en **priviliégiant par sélection les aspects phénotypiques des plantes qui conditionnent leur productivité** (développement des feuilles au détriment de la tige, afin de favoriser la photosynthèse, recherche d'un chevelu racinaire plus touffu, étoffé et plus étendu pour le nourrissage par le sol), qu'**en recherchant des pratiques culturales plus précises** (mélange d'espèces pour mieux capter l'azote du sol ou pour accroître les résistances aux ravageurs, prévisions plus fines pour engager des intrants ou des pesticides, arrosage sélectif, etc.).

Beaucoup de recherches existent dans ce domaine, mais pour que l'agriculture de précision soit mise en œuvre de façon progressive et généralisée dans le système productif français, il serait nécessaire de systématiser ces recherches.

C'est pourquoi, il est proposé que l'INRA et le CEMAGREF rendent conjointement un rapport sur l'état des recherches dans ce domaine, sur les expériences qu'il conviendrait de mener et sur les étapes d'une généralisation de l'agriculture de précision.

B. ACCROÎTRE LE RÔLE DES AGRICULTEURS DANS LA PROTECTION DES ÉCOSYSTÈMES

Les mesures agro-environnementales (MAE) dites de second pilier de la politique agricole commune (PAC) ont initié une participation des agriculteurs à la protection des écosystèmes.

Mais ce premier pas demeure insuffisant :

- **Son volume demeure faible.**

Les MAE ne concernent que 10 % du montant de la PAC, ce qui aboutit dans les faits à plus subventionner les agriculteurs qui mettent à mal l'environnement que ceux qui essayent de le préserver. Et ceci du fait même de la façon dont la France applique les mesures agro-environnementales.

Une possibilité d'accroissement de cette enveloppe existe cependant. Si le mouvement de hausse des matières premières agricoles se poursuit sous la poussée de la demande mondiale, les dépenses de soutien aux marchés sont appelées à diminuer. Elles dégagent, d'ores et déjà, d'importants excédents d'exécution. Il serait souhaitable de diriger – fut-ce dans le cadre d'une diminution des ressources consacrées à la politique commune – une partie de ces disponibilités vers une politique agro-environnementale plus soutenue.

- **Sa mise en œuvre est à l'éclipse.**

L'application des MAE, qui est de la compétence des Etats, a plutôt été conçue comme un substitut aux pertes de revenus qui découlaient de la diminution des dépenses de soutien aux marchés.

Il en résulte :

- une **dispersion** excessive des mesures (même si on est passé en 2003 d'un catalogue de 170 mesures à une liste de 49 mesures),
- des **imprécisions** quant à la définition de l'objet des mesures (par exemple, les haies ne sont pas définies ni en hauteur, ni en largeur),
- des **fluctuations d'application** (à titre d'illustration on a peu à peu réduit le volume de la prime herbagère essentielle au maintien des prairies naturelles ou peu artificialisées),
- une **absence** d'encouragement à la modification des rythmes des assolements qui permettent à la biodiversité du territoire agricole de subsister, et un manque d'incitations au maintien de couverts en herbe pour éviter les ruissellements pendant les pluies de basse saison, etc.

Au surplus, cette politique était fondée sur le **volontariat des agriculteurs**, ce qui a eu pour résultat de morceler l'application sur les territoires agricoles et de diminuer son efficacité (si 30 % d'un territoire est dépourvu de haies, l'effet de la reconstitution de celles-ci dans le reste du biotope agricole est quasi-nul).

On ajoutera que les MAE génèrent des **coûts de transaction** qui deviennent très élevés aussi bien que les collectivités attributrices de l'aide et par les agriculteurs bénéficiaires.

Il est donc nécessaire de redéfinir cette politique :

- **en réduisant les insuffisances et lacunes de leur conception évoquées ci-dessus ;**
- **et en conditionnant l'attribution individuelle des aides à l'adhésion à des contrats sur la base de contrats collectifs passés avec des regroupements d'agriculteurs, sur une durée plus longue que les cinq années actuelles.**

Ce dispositif nouveau aurait un triple avantage :

- assurer une **continuité territoriale** et une cohérence d'application des MAE ;
- **diminuer les coûts individuels de transaction** de ces MAE,
- et **regrouper les aménités environnementales obtenues sur un territoire** (haies, couverts herbeux, prairies résultant d'une généralisation

aux assolements, maintien d'une zone herbeuse, etc.) en « unité de biodiversité », négociables sur le marché des compensations qu'il est par ailleurs proposé d'instaurer.

Il va de soi également que cette politique, qui dépend de la redéfinition du règlement agricole après 2013-20, ne pourra avoir d'efficacité d'ensemble, qu'à la condition que l'attribution des aides de toute nature prohibe la destruction des milieux naturels par l'agriculture ou, pour le moins, prévoit que cette destruction soit compensée par une restauration de milieux (éventuellement négociable en crédits biodiversité).

ADOPTION PAR L'OFFICE

Lors de sa réunion du 11 décembre 2007, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a adopté, à l'unanimité des membres présents, les conclusions des rapporteurs et leurs dix propositions pour « aller plus loin que le Grenelle de l'environnement ».

ANNEXE

LISTE DES PERSONNES AUDITONNEES

	<i>Page</i>
I. EN FRANCE	180
II. A L'ÉTRANGER	183
A. ALLEMAGNE	183
B. COMMISSION EUROPÉENNE, BRUXELLES (BELGIQUE)	184
C. BRÉSIL.....	184
D. COSTA RICA.....	185
E. ETATS-UNIS.....	186
F. FINLANDE.....	188
G. INDE.....	188
I. ROYAUME-UNI.....	191

LISTE DES PERSONNES AUDITONNEES

I. EN FRANCE

a) Agence nationale de la recherche

- M. Michel GRIFFON

b) Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD)

- M. Philippe FELDMANN, Département Biodiversité et Ressources biologiques (AMIS)
- Mme Sylvie GOURLET-FLEURY, Responsable de l'UPR « Dynamique des forêts naturelles »
- M. Robert NASI, Responsable de l'UPR « Ressources forestières »
- Mme Marie-Noëlle de VISSCHER, Écologue, UPR Gestion intégrée de la faune sauvage, département d'élevage et de médecine vétérinaire

c) Centre national de la recherche scientifique (CNRS)

- M. Serge MORAND, Directeur de recherche IRD

d) École des mines de Paris

- Mme Dominique DRON, Professeur

e) École normale supérieure

- Pr. Luc ABBADIE, Valeur fonctionnelle de la biodiversité – ingénierie écologie

f) Génopole Evry

- M. Philippe MARLIERE
- M. Jean WEISSENBACH, Directeur

g) Laboratoire Goëmar

- M. Simon BERTAUD, Président

h) Institut français de la biodiversité (IFB)

- M. Jean-Claude LEFEUVRE, Président
- M. Jacques WEBER, Directeur

i) Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER)

- M. Loïc ANTOINE, Directeur adjoint
- M. Jean BOUCHER, Chercheur en écologie halieutique
- M. Bernard BOYER, Directeur général
- M. Daniel DESBRUYÈRES, Responsable du Département « Etudes des écosystèmes profonds »
- M. Philippe GOULLETQUER, Responsable du Programme national « Durabilité des systèmes de productions aquacoles » et Coordinateur national « Biodiversité marine et côtière »
- M. Philippe GROS, Responsable du thème « Ressources halieutiques, exploitation durable et valorisation »
- M. Dominique HAMON, Responsable du Laboratoire Benthos
- M. Michel LUNVEN, Responsable de l'action « Instrumentation embarquée en milieu côtier »
- M. Philippe MARCHAND, Directeur du Centre de Brest
- M. Alain MENESGUEN, Chef du projet « Modèles génériques des écosystèmes marins »
- M. Jean-Yves PERROT, Président-Directeur général
- M. Joël QUERELLOU, Responsable du Laboratoire microbiologie des environnements extrêmes
- M. Yann-Hervé de ROECK, Responsable du Département « Dynamiques de l'environnement côtier »

j) Institut national de la recherche agronomique (INRA)

- M. Jean-Luc BAGLINIERE, Directeur de recherche
- M. Jacques BAUDRY, Directeur de recherche à l'unité Sad-Paysage
- M. Jean-Éric CHAUVIN, Ingénieur de recherche à l'UMR « Amélioration des plantes et biotechnologies végétales »
- M. Bernard CHEVASSUS-AU-LOUIS, Directeur de recherche
- Mme Solène CROCI, Chercheuse-doctorante à l'unité Scribe
- M. Pierre DUPRAZ, Économiste
- M. Pierrick HAFFRAY, Ingénieur Sysaaf
- Mme Florence LE GAC, Directeur de recherche à l'unité Scribe
- Mme Sylvie LORTAL, Directrice de l'UMR « Science et technologie du lait et de l'œuf »
- M. Gérard MAISSE, Président du centre de Rennes

- M. Dominique OMBREDANE, Professeur à Agrocampus
- M. Michel PASCAL, Directeur de recherche à l'unité Scribe
- M. Michel RENARD, Directeur de UMR « Amélioration des plantes et biotechnologies végétales »
- M. Bernard ROLLAND, Ingénieur de recherche à l'UMR « Amélioration des plantes et biotechnologies végétales »
- M. Jean-François SOUSSANA, Directeur de l'unité agronomique du site de Crouël
- M. Pierre STENGEL, Directeur scientifique

k) Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM)

- Pr. Laurent GUTMANN

l) Institut de recherche et développement (IRD)

- M. Patrice CAYRÉ, Directeur du département ressources vivantes
- M. Bernard DREYFUS, Directeur de recherche
- Mme Geneviève MICHON, Directrice de recherche, Unité « Dynamiques environnementales entre forêt, agriculture et biodiversité »
- M. Jean-François MOLINO, Département « Botanique et Bio-informatique de l'architecture des plantes »
- M. Christian MORETTI, Directeur de recherche, Unité Biodival

m) Institut de recherche Pierre Fabre

- M. Georges MASSIOT, Directeur

n) Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche

- M. Didier HOFFSCHIR, Conseiller auprès de la Direction générale de la Recherche et de l'Innovation

o) Muséum national d'histoire naturelle

- M. Guy BOUCHER, Professeur (biologie des organismes marins et écosystèmes)
- Mme Marie FLEURY, Maître de conférences et ethnobotaniste
- M. Pierre-Michel FORGET, Département Écologie et gestion de la biodiversité
- Mme Sylvie REBUFFAT, Professeur (chimie des substances naturelles)
- M. Simon TILLIER, Chef de projet

p) *Office national des forêts (ONF)*

- M. Pierre-Olivier DRÈGE, Président-directeur général
- M. Jacques LE HÉRICY, Directeur scientifique

q) *Rhodia*

- M. Paul-Joël DERIAN, Directeur Recherche-développement

r) *Saint-Gobain*

- M. Hervé ARRIBART, Directeur scientifique

s) *Université Claude Bernard I*

- M. René BALLY, Directeur de l'UMR « Écologie microbienne »

t) *Université Pierre et Marie Curie*

- M. Robert BARBAULT, Directeur du laboratoire Écologie, biodiversité, évolution et environnement
- M. Thibaud CORADIN, Directeur du programme « produits biomimétiques et bio inspirés »

II. A L'ÉTRANGER

A. ALLEMAGNE

a) *Biokon*

- Dr. Rudolf BANNASCH, Vorstandsvrsitzender
- Dr. Ingo KLEIN, Geschäftsführer

b) *Biopract GmbH*

- Dr. Matthias GERHARDT, Directeur general
- Mr. Vincent PELENC, Bioverfahrenstechnik

c) *Bitop*

- Dr. Georg LENTZEN, Leiter Forschung und Entwicklung

d) *Botanischer garten und botanisches museum*

- Prof. Dr. Werner GREUTER, Leitender Direktor

e) *Federal ministry of education and research*

- Mr. Jochen FLASBARTH, Head of Directorate Général, Nature Conservation and Sustainable Use of Natural Resources
- Dr. Christian MÜLLER, Assistant Head of Division, Biological Research and Technology

f) *Genome analysis of the plant biological system (GABI)*

- Dr. Jens FREITAG, Head of the Managing Office

g) *Technische Universität Berlin*

- Prof. Dr. Baebel FRIEDRICH
- Prof. Dr.-Ing. Peter GÖTZ

h) *UBA (Office fédéral de l'environnement)*

- Dr. Christiane MARKARD, Directeur du service de l'eau
- Frau Birgit MOHAUPT-JAHR, chargée de mission « Effets sur les écosystèmes terrestres »

B. BRUXELLES

a) *DG Environnement de la Commission européenne*

- M. Patrick MURPHY, chef d'unité « Nature et biodiversité »,

b) *DG Recherche de la Commission européenne*

- M. Pierre MATHY, unité « Gestion des ressources naturelles »,
- M. Placido DOMINGUEZ

c) *Bureau de la politique scientifique fédérale belge*

- Mme Nicole HENRY, chef du service de recherche
- M. Jürgen TACK, directeur de la plate-forme biodiversité

C. BRÉSIL

a) *Cirad Brésil*

- M. Philippe PETITHUGUENIN, Directeur regional
- Dr. Plinio SIST, Embrapa Recursos Geneticos e Biotecnologia

b) *Governo do estado do amazonas*

- Mme Marilene CORREA DA SILVA FREITAS, Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia

c) *Jardim botanico*

- M. Liszt VIEIRA, Directeur

d) *Ministere de l'agriculture et de l'alimentation*

- M. Gilberto GONÇALVES LEITE, Directeur adjoint du département du Commerce et de la Communication

e) *Ministerio da ciencia e tecnologia*

- M. Luiz Antonio BARRETO DE CASTRO

f) *Ministerio do meio ambiente*

- M. Paulo José KAGEYAMA, Secretario

g) *Ministerio da sauda, Instituto oswaldo cruz*

- Mme Tania ARAUJO-JORGE, Directrice de l'Instituto Oswaldo Cruz

h) *Universidade de brasilia*

- Dr. Marcel BURSZTYN, Directeur du CDS
- Prof. Laila DARVENNE, Laboratorio de Farmacognosia, Faculdade de Medicina

i) *WWF brasil*

- M. Leonardo VIEIRA LACERDA, Superintendente de Conservação

D. COSTA RICA

a) *Catie*

- M. Hernan ANDRADE, expert du CIRAD
- M. Jacques AVELINO, expert du CIRAD, Docteur en pathologie végétale, Département des cultures pérennes
- M. John BEER, Director, Departamento de Agricultura y Agroforesteria
- M. Olivier DEHEUVELS, expert du CIRAD
- Dr. Pedro FERREIRA, Director General

- Mr. Olivier ROUPSARD, expert du CIRAD

b) *Conservation internationale*

- M. Carlos Manuel RODRIGUEZ ECHANDI, Regional Vice-President, CBC Director

c) *Fondo nacional de financiamiento forestal (FONAFIFO)*

- M. Jorge Mario RODRIGUEZ ZUÑIGA, Director Ejecutivo

d) *Fundecor*

- M. Pedro GONZALEZ, Directeur des Opérations à Sarapiquí
- M. Carlos HERRERA ARGUEDAS, Subdirector
- Mme Cornelia MILLER GRANADOS, Departamento de Planificación y Desarrollo
- M. Franz TATTENBACH, Director

e) *Instituto nacional de biodiversidad (INBIO)*

- Dr. Rodrigo GÁMEZ L., Presidente

f) *Ministère de l'environnement*

- M. Jorge RODRIGUEZ, Vice-ministre de l'environnement

g) *WWF*

- Mme Ana Isabel ESTRADA, Institutional Strengthening Officer
- Mme Silvia MARIN, Représentante pour l'Amérique centrale

E. ETATS-UNIS

a) *Center of Marine Biotechnology (COMB), Baltimore*

- Dr. Frank ROBB, Directeur

b) *Conservation International, Washington*

- M. Gustavo DA FONSECA, Conservateur en chef et Directeur scientifique
- M. Claude GASCON, Vice-président
- M. Olivier LANGRAND, Vice-président
- M. Jorgen THOMSEN, Vice-président et Directeur général
- M. Sébastien TROENG, Directeur de la stratégie marine régionale

- c) *Great Lakes Environmental Research Laboratory (NOAA), Ann Arbor***
- M. Michael A. QUIGLEY, Directeur de la recherche et de l'information
 - Mme Cynthia E. SELLINGER, Directeur adjoint
 - Mme Rochelle STURTEVANT, Responsable du réseau d'enseignement
 - M. Henry A. VANDERPLOEG, Directeur du laboratoire
- d) *Great Lake Fishery Commission, Ann Arbor***
- M. Gavin CHRISTIE
 - M. GLOUTEN
- e) *John Craig Venter Institute, Baltimore***
- M. Robert FRIEDMAN, Vice President
- f) *Massachusetts Institute Technology, Cambridge***
- Mme Kristala JONES PRATHER, Département de chimie industrielle
 - Dr. Sarah O'CONNOR, Département de la chimie
- g) *Michigan State University, East Lansing***
- M. Stuart GAGE, Professeur
 - M. Richard LENSKI, Professeur émérite
 - M. Jianguo LIU, Professeur émérite
 - M. David SKOLE, Professeur
- h) *Microbia, Cambridge***
- Dr. Richard BAILEY, Président
 - M. Peter HECHT, Directeur général
 - M. Michael J. HIGGINS, Directeur financier
 - M. James O'MARA, Directeur du développement
- i) *National Institute of Health, Bethesda***
- Dr. John DALY, Chercheur émérite
 - Dr. Elizabeth Ann DAVIS, Directeur des programmes pour l'Union européenne et l'Europe (division des relations internationales)
 - Dr. Flora KATZ, Directeur des programmes (division de la formation internationale et de la recherche)
 - Dr. Joshua ROSENTHAL, Directeur du programme biodiversité

j) *National Marine Fisheries Service (NMFS), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), Silver Spring*

- M. Reginald BEACH, Directeur de recherche
- Mme Barbara MOORE, Directeur des programmes sous-marins
- M. Steve MUROWSKI, Directeur scientifique
- M. Jean-Pierre PLÉ, Directeur-adjoint

k) *Smithsonian, National Museum of Natural History, Washington*

- Dr. Christian SAMPER, Directeur

l) *SynBERC, Boston*

- M. Randy RETTBERG

m) *Université de Harvard, Cambridge*

- Dr. James HANKEN, Muséum de zoologie comparée

o) *Université du Massachussetts, Boston*

- Dr. Benjamin B. NORMARK, Département des plantes, du sol et de la science des insectes

F. FINLANDE

a) *Commission de protection de l'environnement de la Baltique*

- Mr. Kaj FORSIUS, Secrétaire de la Helcom (Commission de protection de l'environnement de la Baltique)

a) *Université d'Helsinki*

- Mr. Ilkka HANSKI, Professeur

G. INDE

- Prof. B. B. BHATTACHARYA, Vice Chancellor of Jawaharlal Nehru University
- Mr. P. P. BHOJVAID, Senior Fellow, TERI
- Dr. Sas BISWAS, Scientist, Forest Research Institute, Botany Division
- Mr. A. K. DIXIT, Manager, Himalaya Drug Company, Dehradun

- Dr. P. L. GAUTAM, Vice Chancellor, G.B. Pant University of Agriculture and Technology, Uttarakhand
- Prof. Aneeta GOKHALE-BENNINGER, Executive Director, Center for Development Studies & Activities, Pune
- Dr. Rajendra P. JAGDALE, Director General of Science and Technology Park of Pune
- Mr. Y. V. JHALA, Project Tiger Directorate, Government of India, New Delhi
- Dr. P. K. JOSHI, TERI University
- Mr. Bhuwan Chandra KHANDURI, Chief Minister, Uttarakhand
- Dr. Suman LAKHANPAUL, Delhi University
- Pr. Vinod B. MATHUR, Doyen, Faculty of Wildlife Sciences, Dehradun
- Sh. Namo Narain MEENA, Minister of State for Environment & Forests
- Dr. S. S. NEGI, Director, Forest Research Institute, Dehradun
- Mr. R. K. PACHAURI, Director General, TERI, President of GIEC
- Prof. Yash PAL, Chancellor of Jawaharlal Nehru University
- Mr. D. P. PANDEY, Director General, Forest Survey of India
- Shri Sharad PAWAR, Hon'ble Union Minister for Agriculture
- Mr. Deepak PENTAL, Vice Chancellor of Delhi University
- Sh. A. RAJA, Union Minister of Environment & Forests
- Mr. T. RAMASAMI, Ph. D. Secretary to the Government of India, Department of Science and Technology
- Dr. P. S. RAMAKRISHNAN, School of Environmental Sciences, Jawaharlal Nehru University
- Mr. Sundeep SARIN, Joint Director, Department of Biotechnology, Ministry of Science & Technology
- Mr. Vivek SAXENA, Director, Ministry of Environment & Forest
- Shri Kapil SIBAL, Hon'ble Union Minister of Science & Technology and Earth Sciences
- Dr. Paramjit SINGH, Joint Director, Uttaranchal Technical University, Dehradun
- Mr. P. R. Sinha, Wildlife Institute of India, Dehradun
- Pr. Vinay K. TEWARI, Ph. D., Vice Chancellor, Uttarakhand Technical University

H. ITALIE

a) Food and agriculture organization of the United Nations (FAO), Rome

- Badi BESBES, Animal production officer, Animal genetic resources group, Animal production and health division
- Alain BONZON, Fonctionnaire principal de liaison (pêches), Secrétaire de la CGPM, Division des politiques halieutiques et de la planification, Département des pêches
- Vincent Castel, Manager of LEAD francophone platform
- J.-P. CHIARADA-BOUSQUET, Senior legal officer, Legal Office
- Dominique DI-BIASE, Chargée de programme, Service du développement du Programme de terrain, Division de l'assistance aux politiques et de la mobilisation des ressources, Département de la coopération technique
- Marguerite FRANCE-LANORD, Associate Professional Officer (International Arrangement on Forests – NFP Facility), Forestry policy and information division, Forestry department
- Samuel C. JUTZI, Director, Animal production and health division, Agriculture and consumer protection department
- Dominique LANTIERI, Environment and natural resources service, Research, extension and training division, Sustainable development department
- Hervé LEVITE, Fonctionnaire Principal (Gestion de l'eau), Programme international pour la recherche et la technologie en irrigation et drainage (IPTRID), Division des terres et des eaux, Département de la gestion des ressources naturelles et de l'environnement
- Florence POULAIN, Fishery Liaison Officer, International institutions and liaison service (FIEL), Fisheries and aquaculture economics and policy division (FIE), Fisheries and aquaculture department
- Jean-François PULVENIS DE SELIGNY-MAUREL, Directeur, Division de l'économie et des politiques de la pêche et de l'aquaculture, Département des pêches et de l'aquaculture
- Marc TACONET, FIGIS Officer (Fisheries global information système project), Fishery information, data and statistics unit, Fisheries department
- Tesfai TECLE, Sous-Directeur general, Département de la coopération technique

- Daniel RENAULT, Fonctionnaire principal, Gestion des périmètres irrigués, Division de la mise en valeur des terres et des eaux
- Marcela VILLAREAL, Ph. D., Director, Gender, equity and rural employment division, Economic and social development department

b) *Global crop diversity trust*

- Julian LAIRD, Director of development and communications

I. ROYAUME-UNI

a) *Kew Gardens*

- Mr. Mark CHASE, Directeur du laboratoire de génomique
- Mr. Simon OWEN, Conservateur de l'herbier

b) *Muséum d'histoire naturelle*

- Dr Gillian STEVENS, UK Biodiversity Manager
- Mr. Johannes VOGEL

c) *Royal Botanic Gardens, Wakehurst Place*

- Dr Simon LIMINGTON, Head of Seed Conservation