



HAL
open science

La biodiversité à travers des exemples. Services compris.

Yvon Le Maho, Robert Barbault, Luc Abbadie, Corinne Beck, Jacques Blondel, Gilles Boeuf, Philippe Bourdeau, Françoise Burel, Bernard B. Chevassus-Au-Louis, Bruno David, et al.

► **To cite this version:**

Yvon Le Maho, Robert Barbault, Luc Abbadie, Corinne Beck, Jacques Blondel, et al.. La biodiversité à travers des exemples. Services compris.. CSPNB, pp.184, 2012, 978-2-11-129644-2. hal-01132653

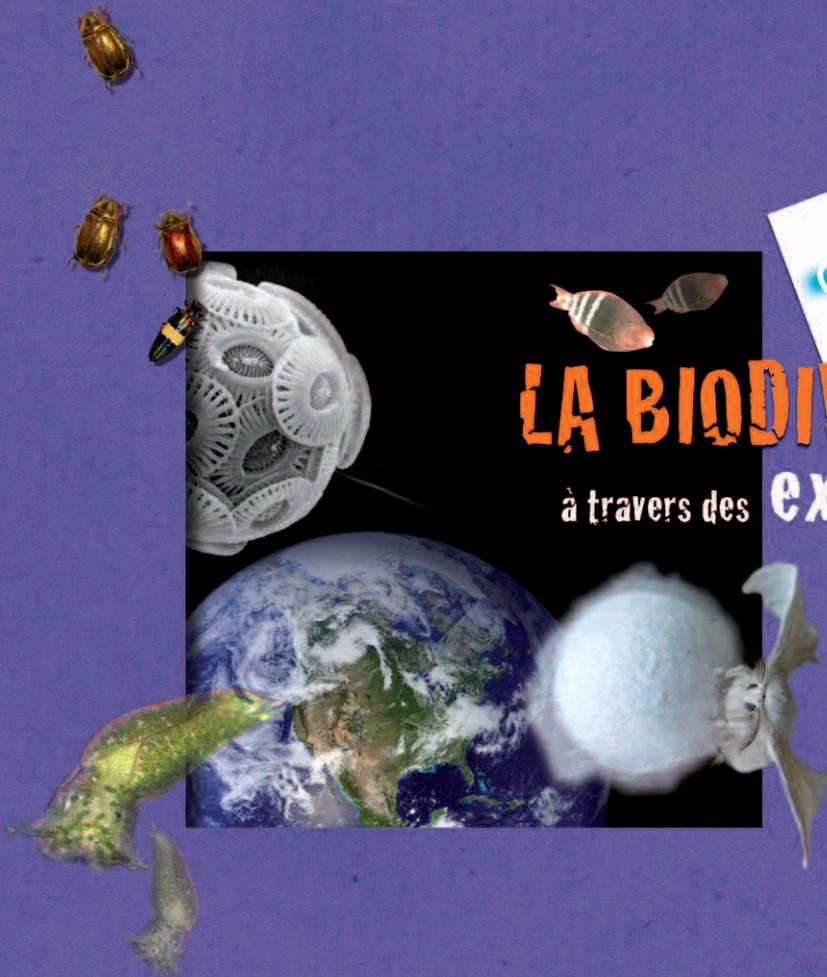
HAL Id: hal-01132653

<https://hal.science/hal-01132653>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



LA BIODIVERSITÉ

à travers des exemples

Créé par arrêté du 26 mars 2004, le Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité (CSPNB) est placé auprès du ministre de l'Écologie, du Développement Durable, du Transport et du Logement. Le CSPNB assure une fonction de veille, de conseil, d'alerte et de réflexion prospective sur l'ensemble des questions scientifiques concernant le patrimoine naturel terrestre et aquatique (eaux douces ou marines), qu'il s'agisse de paysages, d'écosystèmes, d'espèces ou de génomes. Le CSPNB émet des avis scientifiques destinés à éclairer les choix politiques, à la demande du ministre chargé du développement durable. Il peut également s'auto-saisir, par décision consensuelle de ses membres.

La direction de la recherche et de l'innovation du Commissariat général au développement durable en assure l'animation.

Ses recommandations sont consultables sur le site du ministère et ses précédents ouvrages peuvent être téléchargés gratuitement

(http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-conseil-scientifique-du_15002.html).

LES MEMBRES DU CSPNB

**Ayant participé
à l'élaboration de cet ouvrage**

Yvon LE MAHO, Président
Robert BARBAULT, vice-Président
Luc ABBADIE
Corinne BECK
Jacques BLONDEL
Gilles BOEUF
Philippe BOURDEAU
Françoise BUREL
Bernard CHEVASSUS-AU-LOUIS
Bruno DAVID
Henri DECAMPS
Jean-Michel GAILLARD
Philippe GOULLETQUER
François HOULLIER
Catherine LARRERE
Sandra LAVOREL
Jean-Claude LEFEUVRE
Yves LUGINBUHL
Catherine MOUGENOT
Serge MULLER
Jean-Pierre PASCAL
Jacques PORTECOP
Jean-François SILVAIN
Jacques WEBER





L A B I O D I V E R S I T É
SERVICES COMPRIS

Ouvrage collectif du CSPNB

Coordination, rédaction et recherches iconographiques :

Lisa DURAND-GARNIER, MEDDTL / CGDD/ DRI/ SR,
secrétaire scientifique du CSPNB en 2012.

Création et mise en forme graphiques :

Béatrice SAUREL.

Ce document peut être demandé auprès de conseil-biodiversite@developpement-durable.gouv.fr.

Il peut être gratuitement téléchargé sur

http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-conseil-scientifique-du_15002.html

dans la rubrique « Voir aussi ».



B I O D I V E R S I T É

SERVICES COMPRIS

PRÉFACE





Il semblait acquis depuis quelques années que, comme pour le changement climatique, nos sociétés avaient enfin perçu l'importance de la biodiversité et l'urgence de la préserver.

La grave crise économique et sociale que nous traversons actuellement semble avoir effacé cette salutaire prise de conscience. Comme si le vivant, sa prodigieuse diversité, semblaient redevenus sans valeur. C'est faire bien peu de cas des 3,8 milliards d'années d'histoire de la vie et des merveilles qu'elle a inventées - ne serait-ce que notre propre existence !

Or, même si on en reste à une vision strictement économique du monde, la dégradation des écosystèmes avec la perte des espèces qui y vivent, est fort coûteuse pour nos sociétés : c'est l'effondrement de fonctions essentielles - épuration des eaux, pollinisation des fleurs donc production de fruits et de légumes... - qui interviennent dans ce que l'on appelle aujourd'hui des services écologiques.

C'est ce que nous raconte cette nouvelle contribution du Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité, exemples à l'appui.

Oui, la biodiversité est un patrimoine irremplaçable pour nos sociétés et leur bonne santé culturelle, économique et sociale !

Yvon Le Maho,
Président du CSPNB

Robert Barbault,
Vice-Président du CSPNB



B I O D I V E R S I T É

SERVICES COMPRIS

LE POINT DE VUE D'UN SCIENTIFIQUE

L'année 2010, déclarée par les Nations Unies « Année internationale de la biodiversité », a été consacrée à trois questions essentielles :

1- c'est quoi la biodiversité ?

2- pourquoi faut-il s'en préoccuper ?

3- il ne faudra surtout pas cesser de s'y intéresser le 31 décembre 2010 !

Et 2011 est passée, 2012 démarrée et l'urgence est toujours là ! Même l'Organisation des Nations Unies a décrété la Décennie 2011-2020 pour la biodiversité. Et à l'heure où l'on parle de la création de l'Organisation Mondiale de l'Environnement (OME) et du sommet de Rio + 20, les grandes questions environnementales, climat, énergie, eau et biodiversité sont toujours au centre des débats ! Et toutes ces questions sont liées !

Les mots « nature » et « biodiversité » ne sont pas synonymes : durant plus de 700 millions d'années (MA), la « nature » est là sur la Terre en formation (origine estimée à 4 600 MA), mais « toute seule » ! La Vie, et donc la biodiversité, sont plus récentes et ne nous ont laissé des empreintes que depuis 3 850 MA. Après diverses définitions données de la biodiversité, la plus simple aujourd'hui serait de la considérer comme la fraction vivante de la Nature !



On regroupe diverses approches scientifiques sous ce terme :

1- l'étude des mécanismes biologiques fondamentaux permettant d'expliquer la diversité des espèces et leurs spécificités et nous obligeant à davantage « décortiquer » les mécanismes de la spéciation et de l'évolution,

2- les approches plus récentes et prometteuses en matière d'écologie fonctionnelle et de biocomplexité, incluant l'étude des interactions, des flux de matière et d'énergie et les grands cycles biogéochimiques,

3- les travaux sur la nature « utile » pour l'humanité dans ses capacités à fournir... à manger, mais aussi des substances à haute valeur ajoutée pour des médicaments, des produits cosmétiques, des sondes moléculaires ou encore à offrir des modèles plus simples et originaux pour la recherche fondamentale et finalisée, afin de résoudre des questions agronomiques ou biomédicales et enfin,

4- la mise en place de stratégies de conservation pour préserver et maintenir un patrimoine naturel constituant un héritage, naturellement attendu par/pour les générations futures. Et il faut aussi considérablement insister sur le fait que inventaires et catalogues sont bien insuffisants pour préciser ce qu'est la biodiversité : beaucoup plus importantes sont les relations établies entre les êtres vivants et avec leur environnement ! Tout est interactions !

Alors, la biodiversité, en expansion ? Naturellement oui, mais sous les « coups de boutoir » actuels de l'humain, non ! Les conclusions du *Millennium Ecosystem Assessment* ⁽¹⁾ en 2005 sont claires quant aux taux d'érosion actuels ainsi que les travaux publiés dans la revue *Science* ⁽²⁾ en 2010 et ceux dans *Nature* ⁽³⁾ en 2011. Une prise de conscience généralisée est en cours mais suivrons-nous un rythme de changement de nos habitudes au moins aussi rapide que celui des changements environnementaux de tous ordres que nous déclenchons autour de nous ? Saurons-nous durant ce 21^e siècle pleinement développer ce terme de *sapiens* dont nous nous sommes affublés ? Puisse ce petit ouvrage collectif vous amener à vous interroger et à... réagir !

Gilles Boeuf

(1) Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and human well-being : synthesis*. 2005.

Island Press, Washington DC. <http://www.maweb.org>

(2) Butchart, SMS, et al. 2010. *Global biodiversity : indicators of recent declines*. *Science* 328 : 1164–1168.

(3) Barnosky AD, et al. 2011. *Has the Earth's 6th mass extinction already arrived?* *Nature*, 471 : 51-57.



Culture et biodiversité

12

16 S'INSPIRER

16 ■ Des épicéas et des violons

La musique des stradivarius

18 ■ L'orchestre symphonique de la vie

Gazouillis, chants, rugissements, bruits de pas et de sabots

19 ■ Plumes, écailles et carapaces

La nature profite au luxe

20 ■ La nature en mots

La biodiversité à travers la littérature

22 ■ Biodiversité et peinture

L'inspiration des peintres

24 COLLECTIONNER

24 ■ Des os qui valent de l'or

La vie disparue nous profite encore

26 ■ Et vogue la forêt !

Les bateaux des grandes explorations

28 DÉCOUVRIR

28 ■ L'île de Pâques un nouvel effondrement ?

Du service rendu au service disparu

30 ■ Vol d'oiseaux

Les ornithologues amateurs : une grande famille de passionnés

32 ■ Des oiseaux au cœur de la ville

New York, un hotspot mondial d'observation des oiseaux

33 ■ Le rapace des cathédrales

Un prédateur pour réguler les populations de pigeons

34 ■ Promenons-nous dans les bois

Une évaluation économique

35 ■ Des tableaux de riz

L'art d'utiliser la biodiversité

36 SYMBOLISER

36 ■ La terre au cœur des religions

La diversité du monde vivant pour une diversité de croyances

38 ■ L'arbre mythique

Symboles, arts populaires et religions

40 ■ L'arbre de la République

La nature en symbole





Ingénieuse nature

42

46 DES VARIÉTÉS

46 ■ Quand les humains créent de la biodiversité

Le service de la biodiversité domestique est sous-estimé

48 ■ Mouflons et sangliers corses

Quand les espèces domestiques retournent à l'état sauvage

50 DES PAYSAGES

50 ■ Les marais salés

Quand les êtres humains favorisent « la biodiversité »

52 ■ Les carrières de granulats

La création d'étangs artificiels peut favoriser la biodiversité

54 ■ Des marais asséchés

Des cultures céréalières aux dépens des zones humides

56 ■ Radis et capucine en ville

Fleurs et cultures potagères embellissent le quotidien

58 DES CHAMPS

58 ■ Des caféiers protégés

Quand les oiseaux remplacent les insecticides

59 ■ Les guerriers des cultures

Les bandes à carabes

60 ■ Des plantes qui se passent d'engrais

Les légumineuses, les clés des nouvelles agricultures

61 ■ Des poires et des insectes

Expériences aux vergers

62 ■ Les trois sœurs

Le service des cultures mélangées

63 ■ Vive les mélanges !

Les bienfaits des polycultures

64 ■ Faire confiance aux chauves-souris

Un contrôle biologique gratuit

65 ■ Produire mieux et plus

Un mode d'agriculture efficace en Chine

66 DES TERRES MISES À MAL

66 ■ La révérence des abeilles

La variété des insectes pollinisateurs est garante des productions végétales

66 ■ Un réseau de nettoyage et de recyclage à six pattes

70% de la biodiversité connue du règne animal est constitué d'insectes

SOMMAIRE

70 ■ **Ce que coûte la disparition des vautours**
Un service de nettoyage gratuit en voie de disparition

72 DES FILETS EN MERS

72 ■ **Une pêcherie résiliente**
La variabilité des populations de saumons assure l'économie de la pêche

74 ■ **Des pêches ciblées**
Comment réconcilier exploitation et conservation de la biodiversité marine

76 ■ **Des fermes aquatiques**
Utiliser les chaînes alimentaires pour réduire les impacts de l'aquaculture

78 ■ **Un monde de perles**
Des indicatrices de la qualité du milieu

80 DES POISSONS DANS LE ROUGE

80 ■ **Alerte aux sushis**
Les consommateurs de poissons agissent indirectement sur la ressource

82 ■ **Chronique d'une mort annoncée**
Rien ne semble pouvoir arrêter la disparition des oursins du Chili

84 ■ **Des sangsues bien utiles**
D'un service gratuit à un service payant

86 ■ **L'algue et l'oursin de Jamaïque**
Quand la perte de la biodiversité mène à un système appauvri et fragile

88 DES FORÊTS

88 ■ **Les geais, forestiers en chef**
Le renouvellement des forêts est gratuitement assuré par le vent ou les animaux

90 ■ **Là-haut dans la montagne**
Histoire des paysages d'une vallée des Pyrénées

91 ■ **Des bois aux turbines**
Quand les forêts agissent sur le prix de l'électricité

92 ■ **Des forêts entre terre et mer**
Les services multiples des mangroves

94 ■ **Opération nettoyage**
Le nécessaire cortège d'espèces impliquées dans le recyclage du bois mort

96 ■ **Des forêts mixtes**
Quand la production agricole s'invite au milieu des arbres

98 ■ **Renaissance de la forêt**
Les services forestiers reconstitués en zone de montagne



Les conditions pour la vie



i00

i04 LA TERRE

i04 ■ Des sols fertiles

La transformation de la matière organique

i06 ■ Les organismes du sol

Des amis des plantes et des humains

i07 ■ Le ver de terre, star des profondeurs

Un ingénieur de l'écosystème

i08 ■ D'un arbre à un autre

La vie du sol au cœur des forêts

i09 ■ Des monticules à la vie longue

Des vestiges précolombiens sont maintenus grâce à des organismes du sol

i10 OXYGÈNE ET CARBONE

i10 ■ Photosynthèse, source de vie

Qui produit le plus de carbone sur la planète ?

i12 ■ Petits mais efficaces

Le phytoplancton, l'autre poumon de la terre

i13 ■ Les terres de demain

Le phytoplancton, piègeur du carbone

i14 ■ Vive les arbres !

Les forêts sont indispensables pour absorber le CO₂

i16 ■ Les forêts tropicales font de la résistance

La diversité des essences dans une forêt représente une assurance pour l'avenir

i18 ■ Petits, efficaces, mais pour combien de temps ?

Les services fournis par le phytoplancton modifiés par les changements globaux

i20 L'EAU

i20 ■ La source et la vallée

L'histoire de l'eau de Vittel

i22 MANGER OU ÊTRE MANGÉ

i22 ■ Dans les grandes plaines américaines

Quand les grands prédateurs font la loi

i24 ■ Quand un service disparaît...

L'épuration des eaux par les huîtres

i26 ■ Une gélatine envahissante

Quand une seule espèce brise les services vitaux

i28 ■ Des requins aux coquilles Saint Jacques

Les grands prédateurs, des protecteurs de la nature

i30 SE MULTIPLIER ET S'ÉPARPILLER

i30 ■ Bon voyage

Des graines et des fruits dispersés par une diversité d'espèces

i32 ■ Aider les abeilles sauvages

Guide des pratiques agricoles favorables aux pollinisateurs

134 ■ D'une fleur à l'autre

La diversité des plantes est liée à la diversité du monde animal

135 COOPÉRER

135 ■ Des bactéries pour les sushis

La flore intestinale des japonais

136 ■ Une profonde amitié

Le nautilaire et ses bactéries symbiotiques

137 ■ Le microbiome humain

Qui des bactéries ou des cellules humaines composent l'être humain ?



138

140 INNOVER

141 ■ Les biocarburants de demain

Des micro-algues pour la production d'énergie

142 ■ Les « animaux-plantes »

Des modèles pour l'alimentation de demain ?

143 ■ Des crèmes glacées d'un nouveau genre

Quand protéines de poissons et algues marines s'invitent dans l'industrie alimentaire

144 ■ S'affranchir de la nature

La nourriture artificielle est passée de mode

145 ■ Bout d'ficelle

Irremplaçables fibres naturelles

146 ■ Préserver la biodiversité marine

Les aires marines protégées

■ Et si nécessaire, encourager la faune marine.....

Les récifs artificiels

148 ■ Construire au naturel

Les mangroves comme digues protectrices

150 ■ Des îlots de nature

Les espaces verts peuvent être d'excellents modérateurs des inégalités sociales

151 ■ Les fourmis Atta

La biodiversité recèle des modèles d'études

- 152 ■ **La biodiversité récompensée**
Des être vivants à la source de l'innovation
- 154 ■ **Un nid pas si douillet**
La pharmacopée des mésanges
- 155 ■ **Un modèle de rat-taupe**
Du monopole de la souris aux modèles « exotiques »
- 156 ■ **Avec et contre les bactéries**
Des antibiotiques aux défensines
- 158 ■ **La biomanipulation**
Lutter biologiquement contre l'eutrophisation des eaux douces
- 159 ■ **Miser sur la biodiversité**
Utilisation des services écosystémiques dans l'estuaire de l'Escaut
- 160 ■ **Une variété de plantes en « or »**
Du vert sur les mines
- 161 ■ **Des plantes pour contrer les pollutions**
La phytoremédiation
- 162 **CHOISIR**
- 162 ■ **Confiance et coopération**
Des services de prélèvement mieux régulés
- 163 ■ **La montagne Sainte-Victoire**
Quel paysage veut-on ?
- 164 ■ **Re-trouver la nature**
Marier la biodiversité à la prévention des risques, au tourisme et la mise en valeur économique du sol
- 166 ■ **Des pièces pour la nature**
Mesurer la valeur économique des services écologiques ?
- 168 ■ **L'écrevisse de Louisiane**
Impact d'une espèce exotique envahissante sur les services fournis par les écosystèmes
- 170 ■ **Des moutons, des crustacés et du chiendent**
Les services fournis par la biodiversité dans un écosystème en évolution
- 172 ■ **Jeannot lapin**
Une « peste » ? ou un patrimoine ?
- 174 **CONNAÎTRE**
- 174 ■ **La cannelle protectrice**
Une espèce exotique envahissante qui rend service
- 175 ■ **Délicieuse goyave**
Un service pour l'humanité mais pas pour la biodiversité
- 176 ■ **Les prairies à la loupe**
Combien d'espèces sont-elles nécessaires pour maintenir les services fournis par la biodiversité ?
- 177 ■ **Des bâtons vibreurs aux bourdons**
La technique peut-elle remplacer le service écosystémique ?
- 178 **MÉDITER**
- 178 ■ **Des humains qui s'interrogent**
La valorisation des services fournis par la biodiversité dépend des points de vue

culture et biodiversité





Plaisir des yeux, plaisir des sons et des odeurs, découvertes et joies de se sentir libre dans un paysage, marin, forestier ou campagnard ; inspiration de l'esprit et de la créativité artistique, respiration d'un air « pur » de montagne, courses et jeux à plusieurs ou en solitaire... La biodiversité et la diversité des écosystèmes procurent des bénéfices à chaque être humain par les sensations, les émotions (de peur, de joie...) qu'elles procurent, sans qu'il soit besoin que cela se matérialise par une monnaie ou autre forme de retour concret. Sauf, parfois, par des « souvenirs » propres à chacun : bâtons, fleurs séchées, fossiles, photographies, peintures, etc. Ces services immatériels fournis par la biodiversité sont regroupés, avec d'autres, sous le terme de services culturels. Mais ils profitent aussi à notre santé. Des travaux sur la psychologie humaine ont par exemple montré qu'en milieu urbain, les personnes qui évoluent dans des espaces « verts » se portent mieux que celles qui en sont tenues éloignées.

D'autres services, liés à l'histoire de chacun, ne peuvent être convertis en valeur monétaire : comme cette capacité qu'ont les écosystèmes et les paysages auxquels nous sommes liés de nous rappeler nos racines, nos origines. Dans les écoles, « à la maison », la valeur socialisatrice et éducative naît de l'observation et du contact avec les animaux, les plantes, la germination des graines, le ramassage des fruits et feuilles multicolores à l'automne.

Ces services culturels vont de pair avec la diversité sociale et culturelle des liens de l'homme avec la nature. Chaque langue locale, par exemple, exprime des faits et des propriétés existantes dans la nature et les conceptualise souvent par des métaphores. La culture Sâme (peuples des régions lapones) possède, par exemple, un vocabulaire très riche pour décrire les rennes, la neige et la glace.

Cependant dès que les « souvenirs » issus de la nature ont une portée universelle et deviennent objets de rareté, les sociétés humaines leur accordent une « valeur », le plus souvent monétaire, c'est-à-dire un prix. On ne confondra pas valeur et prix !

LE POINT DE VUE DU PHILOSOPHE

Une forêt virtuelle

Parce que la nature a de tous temps inspiré peintres, musiciens et poètes, il est tentant de fonder sa valeur sur certaines propriétés esthétiques : il faudrait préserver la biodiversité parce qu'elle est belle, ou, plus modestement, parce qu'elle est la cause d'intenses émotions esthétiques. Nous aurions alors la responsabilité de conserver une forêt remarquable au même titre que nous conservons le tableau de Léonard de Vinci, La Joconde. Imaginons maintenant qu'un talentueux faussaire reproduise La Joconde strictement à l'identique et que, dans le plus grand secret, il substitue la copie à l'original. On peut s'attendre à ce que le plaisir esthétique des visiteurs soit le même face à la copie que celui provoqué par l'original. Pourrait-on en déduire que les deux toiles ont la même valeur esthétique ? Imaginons maintenant qu'il devienne possible, grâce à des technologies sophistiquées, de recréer à l'identique les sensations d'une balade en forêt, par exemple dans un jeu vidéo en 3D : même humidité de l'air, même symphonie de cris d'oiseaux, de craquements de branches et de froissements de feuilles, même odeur d'humus. L'artefact ainsi créé aurait-il la même valeur que la forêt elle-même ? Et si ce n'est pas le cas, sur quelle base peut-on fonder cette différence ?

S'inspirer

Vols de martinets rasant les toits lors des mois d'été, chants des merles et des grives musiciennes au petit crépuscule, bourdonnement des mouches et des abeilles lors d'une sieste, bruissement des feuilles dans les arbres d'un parc... Les sons de la nature sont omniprésents dans la vie quotidienne et depuis des milliers d'années. Tout d'abord éléments d'information (danger, présence d'animaux pour la chasse, etc.), les sons naturels sont entrés dans les expériences musicales des peuplades humaines, qui ont tenté de les imiter puis de les surpasser en créant des objets dédiés à la musique. La biodiversité, selon le climat et le relief, a toujours offert une grande variété de ressources susceptibles de sonner, résonner et vibrer : troncs, os, cordages, peaux et poils, carapaces... Aujourd'hui, de nombreux composants des instruments de musique sont en produits synthétiques. Mais les essences végétales restent la matière première d'un service écologique universel, difficile à quantifier à l'échelle mondiale.

DES ÉPICÉAS ET DES VIOLONS

LA MUSIQUE DES STRADIVARIUS

Les conditions climatiques « façonnent » les espèces végétales dont sont tirés les instruments de musique. De cette interaction résultent des instruments parfois exceptionnels dont la valeur est sans commune mesure avec celle des matériaux fournis par ces plantes.

En juin 2011, le Stradivarius « Lady Blunt », fabriqué en 1721, a été adjugé à 11 millions d'euros, battant ainsi largement le record précédent (2,8 millions d'euros en 2006) établi par un autre violon du maître de Crémone. Pourquoi une telle valeur ? En quoi est-elle liée à la biodiversité et à ses services ?

L'histoire commence au milieu du 15^e siècle, lorsque débute en Europe le « petit âge glaciaire », période froide faisant suite à la période relativement chaude du Moyen Âge. Du fait de ce refroidissement, la pousse des forêts



© Frinck51



© wikipedia

L'inspiration par les oiseaux

L'un des plus grand compositeur de musique du 20^e siècle, Olivier Messiaen, était aussi un grand ornithologue. Une grande part de ses œuvres prend son origine dans l'écoute du chant des oiseaux, comme le Merle noir et le Réveil des oiseaux en 1952, Oiseaux exotiques en 1955 et Catalogue d'Oiseaux en 1956.

Pour en savoir plus :
<http://www.ina.fr/audio/PHF07009431/olivier-messiaen-le-reveil-des-oiseaux-pour-piano-solo-et-orchestre.fr.html>

s'est considérablement ralentie, comme le montrent les cernes de croissance des arbres. Ainsi, les épicéas du Val di Fiemme, la « forêt des violons » située dans les Alpes italiennes et où s'approvisionnait le célèbre luthier, ont produit un bois extrêmement dense et, de ce fait, particulièrement sonore, idéal pour la table d'harmonie des violons. On a pu montrer pour un autre violon célèbre, « Le Messie », fabriqué en 1716, que l'épicéa utilisé avait 110 ans et était né en 1577. Il avait donc poussé au cours du maximum de cette période glaciaire.

Bien d'autres espèces animales et végétales ont été mobilisées dans la fabrication de ce violon : bois de pernambouc brésilien pour l'archet (espèce aujourd'hui protégée), huile de lin ou de noix et résine de conifères pour les vernis, pigment issu d'une cochenille mexicaine, parasite du figuier de barbarie pour la coloration rouge de ces vernis, boyau d'agneau pour les cordes...

Le génie de Stradivarius a fait le reste mais la musique du « Lady Blunt » peut être considérée comme un service de la biodiversité du passé.



Pour en savoir plus : Les natures du son (coéd. FRB Cité de la Musique) à télécharger sur <http://www.fondationbiodiversite.fr/phototheque/brochures>



Un os pour une flûte

Le plus ancien instrument de musique a été découvert dans le sud-ouest de l'Allemagne dans la grotte de Hohle Fels : c'est une petite flûte de plus de 20 centimètres de long et de moins d'un centimètre de large. Datant d'environ 40 000 ans, elle a été fabriquée dans dans le radius d'un vautour fauve.

Au vue de la complexité de la flûte, les chercheurs supposent que la fabrication des instruments de musique aurait une origine plus ancienne encore.

Sources : Conard, N. et al. *New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany*. Nature, 460 : 737-740.

L'ORCHESTRE SYMPHONIQUE DE LA VIE

GAZOUILIS, CHANTS, RUGISSEMENTS, BRUITS DE PAS ET DE SABOTS...

Les sons et la musique de la nature font partie intégrante de la vie des humains. L'accélération effrénée de la dégradation des environnements et de la nature a modifié les sons que perçoivent les populations.



© M. Lucant



La planète Terre forme un immense orchestre composé de millions d'espèces musiciennes ! Les travaux du scientifique, Bernie Krause, extraordinaire musicien et bio-acousticien, en témoignent. Grâce à des données de physique et de physiologie, Bernie Krause a montré que lorsqu'un habitat est dégradé, sa signature sonore est modifiée.

Au cours de sa vie, il a archivé plus de 4 400 heures d'enregistrement avec les sons de plus de 15 000 espèces animales. Mais 50 % de ces sons sont aujourd'hui dégradés ou éteints, en raison de la disparition des habitats ou des espèces. Certains lieux ne présentent même plus de sons naturels issus d'êtres vivants différents de l'espèce humaine.

Les musiques reflètent les environnements sonores des populations où elles prennent naissance : des plaines glacées de l'Alaska à la forêt amazonienne, de la savane africaine au désert australien, du cœur de la ville à un grand port industriel en passant par les profondeurs du métro. Les musiques des Who, Jimi Hendrix, Led Zeppelin, AC/DC, Black Sabbath, au début hard rock puis heavy metal, ensuite relayées par les styles punk, industriel, rap, hip hop, ne pouvaient naître que dans un environnement urbain, fortement industrialisé. Bien loin du chant des baleines....



Pour en savoir plus : The Great Animal Orchestra: Finding the Origins of Music in the World's Wild Places, B. Krause. Eds. Little, Brown and Company, 2012.

PLUMES, ÉCAILLES ET CARAPACES

LA NATURE PROFITE AU LUXE

Quand l'être humain cherche à créer « la beauté », il s'inspire souvent de la nature et l'utilise gratuitement.

Dans l'art de la bijouterie, insectes, papillons et reptiles ornent broches, boucles d'oreilles et pendentifs brillants de diamants et de matières précieuses. Les insectes aux élytres chatoyants ont depuis très longtemps été l'objet de fascination : comme les buprestes, ces coléoptères magnifiques dont beaucoup d'espèces tropicales ont des reflets vert, jaune ou bleu métalliques. Collectionnés ou copiés, ces insectes doivent-ils être élevés au rang d'art vivant par le simple fait qu'ils existent ? Certains artistes se sont interrogés sur les modalités de la création des objets d'art. Comme Hubert Duprat, qui a utilisé le comportement des larves des phryganes. Celles-ci confectionnent un fourreau protecteur à partir des éléments trouvés au fond de l'eau (brindilles, petits cailloux, morceaux de coquilles). En fournissant à ces larves des matériaux précieux (perles, paillettes d'or et pierres précieuses), l'artiste a fait créer par ces insectes des bijoux originaux. D'insecte, l'animal s'est fait joaillier.



© wikipedia



© G. Boeuf

LA NATURE EN MOT'S

LA BIODIVERSITÉ À TRAVERS LA LITTÉRATURE

La littérature a chanté la diversité des espèces et en particulier des plantes. Les exemples abondent avec des écrivains qui jonglent et mêlent la poésie des noms et leur étrangeté.

L'extrait du texte de *La Faute* de l'abbé Mouret (1875) d'Émile Zola est l'un de ceux qui s'enflamme le plus à décliner les passions nées dans le jardin embaumé et bruissant des mille chuchotements des plantes, des animaux et des sources. La description entière évoque mille espèces dont nous ne garderons ici que les pages consacrées aux Crassulacées, aux noms évocateurs, et qui entraînent le lecteur dans un voyage imaginaire, celui de la fécondité de la nature, dont la biodiversité est l'une des plus puissantes expressions :

« C'était le jardin qui avait voulu la faute. Pendant des semaines, il s'était prêté au lent apprentissage de leur tendresse. Puis, au dernier jour, il venait de les conduire dans l'alcôve verte. Maintenant, il était le tentateur, dont toutes les voix enseignaient l'amour. Du parterre, arrivaient des odeurs de fleurs pâchées, un long chuchotement, qui contait les noces des roses, les voluptés des violettes ; et jamais les sollicitations des héliotropes n'avaient eu une ardeur plus sensuelle. Du verger, c'étaient des bouffées de fruits mûrs que le vent apportait, une senteur grasse de fécondité, la vanille des abricots, le musc des oranges. Les prairies élevaient une voix plus profonde, faite des soupirs des millions d'herbes que le soleil baisait, large plainte

pour les aiguilles rouges
des pustules vivantes
Les pustules rêvaient tout haut

avait voulu la faute. Pendant des semaines, il s'était prêté au lent apprentissage de leur tendresse. Puis, au dernier jour, il venait de les conduire dans l'alcôve verte. Maintenant, il était le tentateur, dont toutes les voix enseignaient l'amour. Du parterre, arrivaient des odeurs de fleurs pâchées, un long chuchotement, qui contait les noces des

c'étaient des bouffées de fruits mûrs que le vent apportait, une senteur grasse de fécondité, la vanille des abricots, le musc des oranges. Les prairies élevaient une voix plus profonde, faite des soupirs des millions d'herbes que le soleil baisait, large plainte

caresses fraîches des rivières

« Les mamillaria entassaient des pointes d'acier. Les echinocactus, m'excroissance au



d'une foule innombrable en rut, qu'attendrissaient les caresses fraîches des rivières, les nudités des eaux courantes, au bord desquelles les saules rêvaient tout haut de désir. »
(...)

« Les mamillaria entassaient des pustules vivantes, un grouillement de tortues verdâtres, terriblement barbues de longs crins plus durs que des pointes d'acier. Les echinocactus, montrant davantage de peau, ressemblaient à des nids de jeunes vipères nouées. Les échinopsis n'étaient qu'une bosse, une excroissance au poil roux, qui faisaient songer à quelque insecte roulé en boule. Les opuntia dressaient en arbres leurs feuilles charnues, poudrées d'aiguilles rougies, pareilles à des essaims d'abeilles microscopiques, à des bourses pleines de vermine et dont les mailles crevaient. Les gasteria élargissaient des pattes de grand faucheur renversés, aux membres noirâtres, pointillés, striés, damassés. Les cereux plantaient des végétations honteuses, des polypiers énormes, maladies de cette terre trop chaude, débauches d'une sève empoisonnée. Mais les aloès surtout épanouissaient en foule leurs cœurs de plantes pâchées : il y en avait de tous les verts, de tendres, de puissants, de jaunâtres, de grisâtres, de bruns éclaboussés de rouille, de verts foncés bordés d'or pâle ; il y en avait de toutes les formes, aux feuilles larges découpées comme des cœurs, aux feuilles minces semblables à des lames de glaive, les uns dentelés d'épines, les autres finement ourlés ; »



Source : Emile ZOLA, La Faute de l'Abbé Mouret, 1875.

de désir

il venait de les conduire dans l'alcôve verte. Maintenant, il était le tentateur, dont roses, les voluptés des violettes ; et jamais les sollicitations des hélotropes n'avaient eu une ardeur plus sensuelle.

le musc des oranges. Les prairies élevaient une voix plus profonde, faite des s des rivières, les nudités des eaux courantes, au bord desquelles les saules rêva

llement de tortues verdâtres, terriblement barbues de longs crins plus durs qu eau, ressemblaient à des nids de jeunes vipères nouées. Les échinopsis n'étaie songer à quelque insecte roulé en boule.



BIODIVERSITÉ ET PEINTURE

L'INSPIRATION DES PEINTRES

Les peintures sont le reflet de l'évolution du regard des contemporains de chaque époque sur les paysages et la nature. Les peintres et les agronomes de l'époque de la Renaissance ont même travaillé ensemble sur la prodigalité de la nature et des bienfaits qu'elle apporte à l'espèce humaine.

La peinture des paysages est née à la Renaissance ou à la fin du Moyen Âge alors que la représentation de la nature ne pouvait échapper à la création divine. L'histoire de l'art a coutume de présenter les paysages peints par les artistes italiens, flamands, allemands ou français comme des paysages nés de l'imaginaire des peintres. On sait depuis peu qu'en réalité, les peintres observaient les paysages de manière précise et s'ils prenaient quelque distance avec la réalité observée, ils ne pouvaient les inventer totalement. Les peintures des maîtres italiens de la Renaissance leur ont été inspirées par des paysages réels qu'ils ont parfois tenté de reproduire fidèlement comme plans de scènes bibliques ou politiques représentant les princes et leur cour sur un fond de collines arborées, bucoliques et champêtres.

Quelques-unes des grandes toiles des maîtres italiens comme Piero della Francesca ont trouvé leur lieu d'inspiration. Grâce à des recherches récentes en Emilie Romagne, les paysages originels ont été très précisément repérés. On sait que le peintre pratiquait une recherche dans les paysages qu'il traversait pour les faire figurer sur ses toiles commandées par les représentants des pouvoirs locaux. Il faisait des croquis confiés ensuite à ses élèves et il apportait la dernière touche.

Cette précision dans l'observation des paysages a trouvé une parenté dans les toiles d'Arcimboldo et de son école qui ont représenté la diversité des fruits et des plantes cultivées dans les célèbres toiles symbolisant les saisons sous forme de portraits composés à l'aide des produits de la campagne ou parfois même de la mer.



© Kunsthistorisches Museum Vienna



La vision bucolique de la nature n'a pas été inventée par les peintres, il est vrai. Virgile a consacré une part de ses œuvres à dépeindre les paysages de la campagne. Les agronomes de la Renaissance ont suivi ses préceptes et ont souvent refondé leurs recommandations agronomiques sur les principes de l'abondance du pays de cocagne, du paysage pastoral et du bucolique.

Il y a eu une véritable communauté de pensée entre les peintres et les agronomes de la Renaissance sur la prodigalité de la nature et des bienfaits qu'elle apporte à l'espèce humaine. C'est à partir du 19^e siècle que cette vision a décliné avec la spécialisation des sciences et la perte inéluctable du lien entre l'agronomie devenue productiviste et la représentation picturale des paysages. Il fallait produire vite et plus, aller plus vite que la propre vitesse d'évolution de la nature, en être maître. On sait à quelle situation de l'humanité cette nouvelle vision risque de conduire.

 Pour en savoir plus : http://www.dailymotion.com/video/x8prh7_arcimboldo-l-eau_creation



Collectionner

Le marché de l'art issu de la biodiversité se porte bien, que cette dernière soit actuelle ou passée (fossiles). La rareté de certaines espèces accentue d'ailleurs les convoitises humaines et augmente les prix du marché.



DES OS QUI VALENT DE L'OR

LA VIE DISPARUE NOUS PROFITE ENCORE

Les fossiles peuvent être considérés comme patrimoine géologique, élément naturel, ou objet culturel.

La course aux fossiles n'est pas réservée aux seuls chercheurs. Il existe actuellement un engouement pour ces restes parfois vieux de centaines de millions d'années. Il est vrai que les fossiles interpellent et suscitent de nombreuses questions sur l'origine de la vie, l'évolution et l'histoire de notre propre espèce. La fascination qu'exercent les animaux disparus il y a des millions d'années sur tous les publics rend ces derniers d'autant plus précieux comme patrimoine de l'humanité. Mais cette pratique de



© G. Boeuf



collectionneur ne va pas sans soulever des polémiques qui opposent les chercheurs aux maisons de vente aux enchères. Selon les pays, les fossiles peuvent en effet être considérés comme patrimoine géologique, élément naturel, ou encore comme objet culturel. Les squelettes proposés de dinosaures, parfois complets mais souvent reconstitués, s'arrachent à prix d'or, jusqu'à plusieurs millions d'euros, ce qui explique pourquoi les acheteurs sont plus souvent des riches collectionneurs que des institutions publiques.

Dans certains États américains comme le Montana et le Dakota du Sud, ou bien encore, en Argentine, le commerce de dinosaures est encore autorisé et on observe la vente de permis attribués à prix d'or, donnant lieu à des fouilles frénétiques qui fournissent les marchés du monde entier.

Dans les années 1990, les paléontologistes chinois firent la découverte sensationnelle de fossiles d'ancêtres des oiseaux, dont le désormais célèbre *Confuciusornis*, vieux de 120 à 125 millions d'années. Ces fossiles mirent en cause l'origine et l'histoire évolutive de ce groupe. Cet oiseau du Mésozoïque est l'animal le plus ancien connu pour avoir un véritable bec. Tous les spécimens de cette espèce et de bien d'autres provenaient de sédiments lacustres localisés dans la même région. Cette découverte fameuse donna lieu à un trafic intense bien que rigoureusement prohibé par la loi. C'est au point qu'on dut faire garder par l'armée ce gisement fossilifère d'autant plus prestigieux que les fossiles se comptent par centaines, contiennent une bonne diversité d'espèces et sont dans un état exceptionnel de conservation. En 2002, les États-Unis restituèrent à leur pays d'origine 14 tonnes de fossiles sortis illégalement de Chine.

Il est même arrivé qu'un squelette sorti illégalement de ce pays, puis récupéré par des scientifiques, se soit avéré être une espèce nouvelle, en l'occurrence le fameux *Microraptor*.



ET VOGUE LA FORÊT !

LES BATEAUX DES GRANDES EXPLORATIONS

Si le bois est maintenant délaissé dans la construction des bateaux, son usage a permis le développement de la marine et une nouvelle liberté : la découverte de nouveaux continents. Les vieux gréements sont les grands témoins de l'utilisation de la diversité végétale dans la marine.



© R. Jouan

Comme les caravelles de Christophe Colomb, les bateaux à voile ont contribué à explorer le monde et à rapporter en Europe de nombreuses plantes et des animaux faisant aujourd'hui partie de notre quotidien : pommes de terre, tomates, haricots, maïs et dinde.

Pour rapporter cette biodiversité, ces bateaux combinaient eux-mêmes de manière ingénieuse les ressources de la biodiversité, dont les propriétés particulières avaient été établies de manière empirique par des générations de marins et de constructeurs de bateaux.

Ainsi, si la coque devait être en chêne, on préférerait le robinier (« faux acacia ») pour les chevilles d'assemblage, cette espèce d'Amérique du Nord introduite en Europe au 16^e siècle. Le sapin ou l'épicéa était recherché pour les mâts, le buis pour les poulies et les essieux, le hêtre pour les avirons, l'orme pour les affûts de canon. On retrouvait le chêne, mais aussi l'acacia et l'osier pour la confection des tonneaux destinés à la conservation des provisions du bord. La gestion des forêts était alors en grande partie orientée vers la fourniture du « bois de marine ». Plusieurs milliers de chênes étaient nécessaires pour la construction d'un grand vaisseau de ligne et l'ordonnance de Colbert de 1669 avait comme but principal de permettre aux chênes de « vieillir pour la marine ».

Les fibres textiles jouaient également un rôle important : le chanvre était irremplaçable pour les cordages et utilisé également, tout comme le lin, pour les voiles. Les résidus non tissés de chanvre ou de lin fournissaient l'étope nécessaire au calfatage, en les mélangeant au brai, sorte de goudron obtenu à partir de résines de conifères. Du fait de leur usure rapide, ces fibres devaient être produites en quantité importante : un grand bateau consommait environ 70 tonnes de chanvre par an ! Ce matériau stratégique faisait donc l'attention du pouvoir royal et Colbert, outre la création de la corderie royale à Rochefort en 1666, prit diverses mesures pour encourager sa culture.

© A. Sheikh



Au sein d'une espèce donnée, on recherchait en outre des provenances particulièrement adaptées. On explorait ainsi les forêts de chêne pour repérer, à l'aide de petits gabarits, des formes particulières d'embranchements permettant d'obtenir des pièces massives, plus solides que des pièces assemblées, épousant les formes de la coque. De même, on allait chercher, des conifères en altitude, parfois fort loin, pour obtenir des mâts plus solides : le célèbre « chemin de la mâturation », creusé dans la roche au dessus de Pau au 18^e siècle pour fournir en sapins, mais aussi en hêtres et en buis le port de Bayonne, témoigne de l'importance de cette ressource. De même, les chanvres hollandais, venus du nord, fournissaient des voiles plus souples et efficaces que le chanvre français, avantage parfois décisif pour les vaisseaux de guerre.

© D.J. Fred



● Source : Jean-Marie Ballu. Bois de Marine. Les bateaux naissent en forêt. Editions du Gerfaut



© Wollog

Découvrir

La nature et le monde vivant fascinent. Pour exemple, les chiffres du Muséum national d'Histoire naturelle montrent que plus de 10 millions de personnes sont venues le visiter en 2011 : 2 millions d'entrées payantes sur les sites de Paris, 100 000 en province. Ré-ouvertes en 2010, les grandes serres ont attiré plus de 400 000 visiteurs, la Galerie de paléontologie et d'anatomie comparée un peu moins de 300 000, la Grande Galerie de l'Evolution, environ 800 000 et la Ménagerie - ouverte depuis 1793 ! - 800 000. A titre de comparaison, le Natural History Museum de Londres accueille 4,5 millions de visiteurs par an.



L'ILE DE PÂQUES UN NOUVEL EFFONDREMENT ?

DU SERVICE RENDU AU SERVICE DISPARU

Tout service issu de la biodiversité est soumis à une limite d'utilisation. Même le service culturel de la biodiversité n'y échappe pas. Lorsque le nombre de touristes explose en un lieu, les ressources locales ne suffisent plus, et les tensions sociales augmentent.

L'île de Pâques constitue un terrain d'investigation à ciel ouvert. C'est l'île la plus isolée du monde. Découverte aux environs du huit-neuvième siècle par une population polynésienne en provenance d'«Hiva», île qui semble appartenir à l'archipel actuel des Marquises, elle était recouverte d'une extraordinaire végétation, en majeure partie constituée par un arbre endémique, le *Sophora toromiro*. Les premiers humains introduisirent l'arbre à pain, le cocotier (qui disparut), le santal, la patate douce, la banane, etc. Deux animaux « domestiques » furent également introduits, le rat de palme et le poulet. Durant 700 ans, les humains vécurent isolés, en autarcie totale. Puis, la déforestation massive engagée dès la colonisation, l'érosion consé-



cutive des sols, les brûlis, la surpopulation - on suppose qu'il y avait 10 000 personnes vers 1650 -, la disparition des embarcations due au manque d'arbres et donc la fin de la pêche et des ressources halieutiques, enfin les guerres tribales aboutirent à une tragédie généralisée. Cet effondrement, raconté par le scientifique Jared Diamond en 2006, va-t-il être suivi par un second qui serait, lui, provoqué par une « surexploitation touristique » moderne ?

De l'histoire naturelle et humaine passée et des mystères de l'île de Pâques, résulte un attrait touristique certain. Or si les autorités chiliennes avaient plus ou moins volontairement limité l'accès à l'île, en n'autorisant qu'une seule compagnie aérienne chilienne, les flux touristiques ont dramatiquement changé au cours des vingt dernières années. De 6 000 visiteurs par an, souvent accueillis chez l'habitant, le nombre de touristes s'élève désormais à 50 000 ! Hôtels de luxe, croisières en haute mer, augmentation de la desserte... En octobre 2009, les habitants ont massivement voté une « limitation d'acceptabilité » du nombre de touristes et d'immigrants qui représentent, selon eux, une menace pour leur environnement, leur mode de vie et leur culture. En sept ans, la population de l'île est en effet passée de 2 600 à plus de 4 000 personnes, les immigrants étant essentiellement des chiliens venus du continent. En août 2009, l'aéroport était bloqué et en décembre 2010, éclataient de violents affrontements avec la police chilienne.

Quelle serait la solution ? L'une d'elles consisterait, comme pour les îles Galapagos, à mettre en place un système de « quotas » d'accès, comme cela existait officieusement auparavant.



© IRD - M.N. Favier

LE CAS DU COSTA-RICA.

Célèbre pour son approche éclairée de la préservation de l'environnement, le Costa Rica serait victime de son succès. Première source de devises, le tourisme représente en effet 25 % du total des ressources du pays. Connu pour valoriser la biodiversité de sa faune, de sa flore et de ses paysages protégés, le Costa-Rica a misé sur le développement de l'écotourisme. Mais le nombre de visiteurs augmente avec les dégradations environnementales qui lui sont corrélées (nouvelles infrastructures hôtelières, surfréquentation). Il y aurait donc un seuil à ne pas dépasser pour le tourisme afin de préserver la biodiversité.



© G. Boeuf

VOL D'OISEAUX

LES ORNITHOLOGUES AMATEURS : UNE GRANDE FAMILLE DE PASSIONNÉS

L'observation de la nature en général peut générer une fréquentation touristique importante. Mais un écotourisme mal encadré peut faire du tort à la biodiversité et se doit d'être soigneusement réglementé.



© L. Garnier

En 2006, 70 millions d'américains – soit environ 22 % de la population – étaient recensés pour leur activité d'observation de la nature, générant 45 millions de dollars, incluant l'essor du marché du matériel d'observation. Parmi les ornithologues amateurs, 42 % étaient des adeptes des voyages naturalistes.

La célèbre migration des grues aux abords du lac Värnen en Suède draine chaque printemps des milliers de visiteurs qui rapportent à l'industrie touristique de la région des millions de couronnes suédoises.

Il existe évidemment une grande disparité dans les motivations à observer la nature, certains se contentant du bois ou de la mare la plus proche de leur habitation, d'autres n'hésitant pas à faire des milliers de kilomètres pour ajouter une ou quelques espèces à leur « life list » (nombre total d'espèces observées au moins une fois). En Europe, des « écotours » sont régulièrement organisés pour observer les centaines de milliers d'oies qui hivernent dans les polders hollandais ou les milliers de grues, canards et oies séjournant dans les étangs du Der et attirant dans leur sillage de prestigieux rapaces comme le pygargue à queue blanche. Les investissements réalisés pour satisfaire les exigences de tous ces observateurs sans porter atteinte à la tranquillité des animaux peuvent s'élever à des sommes très importantes, par exemple 500 000 dollars américains pour aménager les abords d'immenses colonies d'oiseaux de mer sur des petites îles au large des côtes d'Afrique du Sud (huttes d'observation, chemins d'accès aux colonies, musées etc.).

Tout comme une chasse excessive, un écotourisme mal encadré peut faire un tort considérable à la biodiversité et se doit d'être

en chiffre

En France, la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO) recense 45 000 membres.

En Grande-Bretagne, la Royal Society for the Protection of Birds (RSPB) compte plus d'un million de membres.



soigneusement réglementé, quand ce ne serait que pour ne pas tuer la poule aux œufs d'or. D'où une série de mesures édictées par « l'Ecotourism Society » dans le cadre d'une charte dont l'objet est de définir des critères éthiques liés à cette activité. La réglementation inclut, entre autres, l'interdiction de tout prélèvement quel qu'il soit, le seul « prélèvement » autorisé ne pouvant être que la photographie ; la mise au point de règles strictes garantissant la sécurité et la tranquillité des animaux ; l'adoption pour les sites sensibles de quotas de visiteurs par jour ou par an ; enfin l'édition de règles extrêmement contraignantes pour éviter toute introduction d'espèces allochtones qui pourraient se révéler envahissantes ou pathogènes, règle particulièrement importante en Antarctique où l'écotourisme est en passe de se développer considérablement.



Source : Blondel, J. 2002. *Birding in the sky: only fun, a chance for ecodevelopment, or both?* Pages 307-317 in di Castri, F. and Balaji, V. (Eds). *Tourism, Biodiversity and Information*. Backhuys Publishers, Leiden.



DES OISEAUX AU CŒUR DE LA VILLE

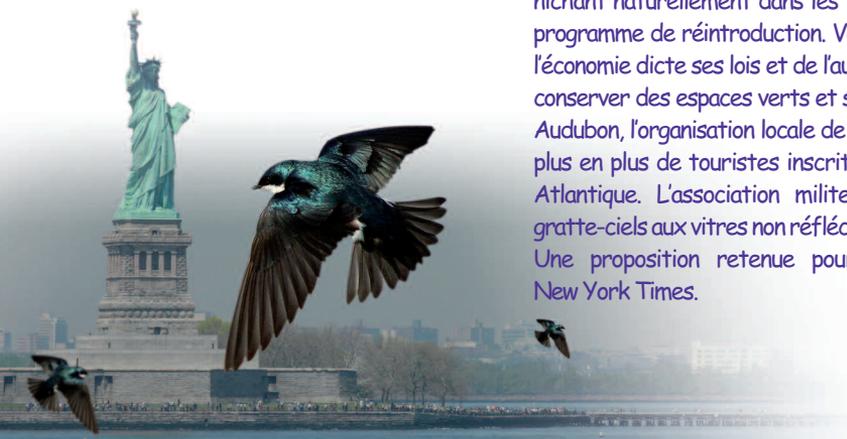
NEW YORK, UN HOTSPOT MONDIAL D'OBSERVATION DES OISEAUX

Certaines villes tentent de marier protection de la nature et économie.



© A. Hutter

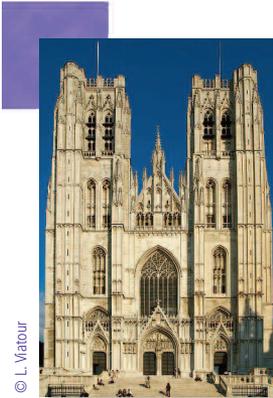
« Je suis allé jusqu'aux îles Galápagos pour découvrir la beauté sauvage. Et puis, de retour chez moi, à New York, j'ai découvert que Central Park est un hotspot mondial pour l'observation des oiseaux ! » L'homme, « en costard cravate », les jumelles au cou commence tout juste à s'initier à l'observation des oiseaux dans Central Park, à la sortie des bureaux. Central Park, Prospect Park, Inwood Park, mais aussi le New York Botanical Garden, le parc de Jamaica Bay... Disséminés dans les cinq districts de la ville, ces bouffées d'oxygène pour les hommes sont aussi les oasis et les aires de repos d'oiseaux fatigués par leur migration. Au printemps, près de 400 espèces d'oiseaux peuvent être observées au cœur de la ville. A Tanner spring, seule source d'eau naturelle de Central Park, des ornithologues passionnés viennent photographier et observer les petits oiseaux de passage, tels que les fauvettes américaines. Le long de la célèbre 5^e avenue, c'est un couple, Pale Male et Lola, des buses à queue rousse, qui font le spectacle avec leur nid perché sur une belle bâtisse. Car même les ponts et les gratte-ciels de la ville ont trouvé preneurs : le faucon pèlerin, un rapace nichant naturellement dans les falaises, s'est laissé séduire grâce à un programme de réintroduction. Voilà tout New York. Un centre urbain où l'économie dicte ses lois et de l'autre, une ville portée par l'engagement de conserver des espaces verts et sauvages. Les guides de la New York City Audubon, l'organisation locale de la protection des oiseaux, disent voir de plus en plus de touristes inscrits à cette activité, très populaire outre Atlantique. L'association milite également pour la construction de gratte-ciels aux vitres non réfléchissantes pour éviter de tuer les oiseaux. Une proposition retenue pour le bâtiment abritant le siège du New York Times.



LE RAPACE DES CATHÉDRALES

UN PRÉDATEUR POUR RÉGULER LES POPULATIONS DE PIGEONS

Les prédateurs peuvent contribuer à réguler des populations de proies dans les grandes villes.



© L. Viatour

Bien que connu pour nicher dans les grandes villes depuis très longtemps en Amérique du Nord, ce n'est que plus récemment que le faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) a pris cette habitude dans les villes européennes. Aujourd'hui, on le trouve par exemple régulièrement à Paris, Londres, Bruxelles, Berlin, Varsovie, Rome, mais aussi dans des villes plus petites comme Strasbourg, Arles, Limoges, Nancy et bien d'autres. Les couples de faucons établissent leur nid sur des bâtiments élevés, tours et églises. C'est au point que l'oiseau est devenu un locataire régulier des grandes cathédrales. Son attrait pour les villes s'explique par ses sites de nidification inaccessibles à la plupart des prédateurs dont il pourrait être victime, mais surtout par une nourriture pléthorique qui ne fait jamais défaut : les pigeons domestiques. En cela, les faucons pèlerins fournissent un service de régulation d'une espèce souvent indésirable par les dégâts qu'elle cause aux édifices. La fécondité du pigeon domestique est telle que le rapace ne pourra cependant jamais en contrôler totalement les effectifs.

Pour une observation en direct sur la cathédrale Saint Michel à Bruxelles : <http://www.fauconsperlerins.be/>



© T. Ilovet

© A. D. Wilson

Les forêts constituent aux abords des villes des zones « vertes » nécessaires aux loisirs et au bien-être des citoyens et vacanciers. Des études cherchent à estimer le prix de revient de ces forêts pour leurs fonctions récréatives et esthétiques.

PROMENONS-NOUS DANS LES BOIS

UNE ÉVALUATION ÉCONOMIQUE



© E.U.

Selon la fréquentation récréative et touristique ainsi que le mode de gestion, les écosystèmes forestiers français métropolitains s'évaluent entre 500 à 2 000 €/halan

Parmi les divers services rendus par les écosystèmes forestiers, ceux relatifs aux fonctions récréatives et esthétiques peuvent être particulièrement importants dans les régions densément peuplées de l'Europe occidentale.

Une étude de 2009 réalisée dans les forêts de la région wallonne de Belgique le confirme. Cette région, couvrant près de 17 000 km², comprend environ 500 000 hectares de forêts dont la moitié est la propriété publique des provinces et de leurs communes. Les feuillus et résineux occupent des surfaces à peu près égales.

Il a été estimé que le nombre de visites dans ces forêts s'élève à 113 millions par an, dont 20 millions par des vacanciers. La préférence va nettement aux forêts publiques ainsi qu'aux massifs de feuillus. Leur évaluation économique indique que la valeur des services fournis est, à ce titre, de l'ordre de 2 milliards d'euros par an. Cette évaluation a été réalisée en se basant sur le coût des frais de déplacement ainsi que sur le consentement à payer ces coûts par les visiteurs.

L'étude propose de développer un zonage récréatif des forêts de manière à optimiser cette fonction tout en préservant au mieux les autres usages comme la production de bois, la protection de la biodiversité, la chasse, etc.

Avec le Land Art, une forme d'art contemporain, la nature n'est plus simplement représentée : elle fait partie de l'œuvre elle-même. Les matériaux sont de nature différente : bois, pétales, fleurs, terre, pierres, sable, rochers, etc.. Réalisées en extérieur, elles sont plus souvent éphémères.

DES TABLEAUX DE RIZ

L'ART D'UTILISER LA BIODIVERSITÉ

Grâce à la culture de différents types de germe de riz (jaune, vert et marron), implantés à des endroits spécifiques, certains habitants de la ville de Inakadate au Japon réalisent de magnifiques œuvres naturelles. Ces « peintures » ne peuvent être contemplées qu'en haut d'une tour.



Symboliser

Les services culturels fournis par la biodiversité s'expriment aussi à travers la multitude des traditions religieuses présentes dans toutes les civilisations. L'on ne saurait comprendre un environnement naturel sans appréhender les cultures humaines qui l'ont façonné. Chaque culture possède en effet son propre ensemble de représentations, connaissances et pratiques. Nombre de pratiques sont, dans leur existence et leur expression, tributaires de certains éléments spécifiques de la biodiversité.



LA TERRE AU CŒUR DES RELIGIONS

LA DIVERSITÉ DU MONDE VIVANT POUR UNE DIVERSITÉ DE CROYANCES

La biodiversité se reflète aussi à travers une diversité culturelle parmi les humains. Cela transparaît parfois dans les religions.



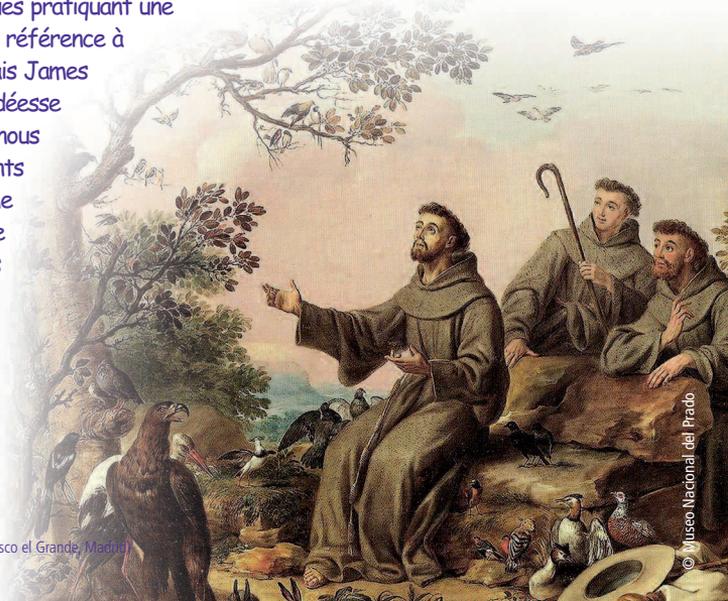
L'historien des religions, Mircea Eliade, parle de « la quasi-universalité des croyances en un Être divin céleste, créateur de l'Univers et garant de la fécondité de la terre ». En évoquant l'existence d'un lien explicite entre le ciel et la terre, Eliade fait état d'un état de dépendance entre le royaume de Dieu (ou des dieux) et la marche du monde. Cette dépendance est une garantie de fécondité : de la marche des astres et de la régularité des saisons dépend la survie des êtres qui peuplent la terre et constituent l'étoffe de la nature.

Mais si la terre est une mère nourricière bonne et généreuse, elle peut aussi se transformer en maître impitoyable, ce qui explique que les humains se soient efforcés de l'amaïouer par toutes sortes de pratiques magiques, voire religieuses, en la divinisant ou en la sacrifiant.

A l'instar des traditions animistes dont beaucoup déifient les êtres vivants non-humains, les religions monothéistes, et notamment les religions du livre (judaïsme, christianisme, islam), ont toujours eu un discours sur la création et sur tous les êtres vivants. Ce qui ne veut pas dire que spiritualité ait toujours rimé avec respect de la création. La dimension spirituelle de la biodiversité n'a pas toujours servi cette dernière.

L'émergence des religions monothéistes a porté un coup sérieux à la posture conciliante pleine d'émerveillement, de louange, mais aussi de crainte et de soumission que les humains avaient prise avec la nature. Le christianisme en particulier a été accusé d'avoir dédivinisé la nature et d'avoir opéré un désenchantement du monde, encourageant une arrogance humaine à l'égard de la nature et conférant à l'esprit scientifique une place centrale dans l'idée de progrès, notamment depuis l'avènement des Lumières.

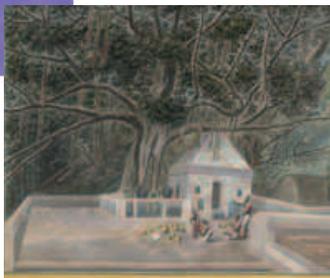
La prise de conscience, tardive mais réelle, de cette responsabilité dans la crise de l'environnement suscite un besoin de réconciliation. Elle s'exprime à travers plusieurs initiatives des Eglises. Ainsi a eu lieu à Assise, en octobre 1986, la réunion de nombreux responsables religieux, dont le pape Jean-Paul II et le Dalai-lama, pour aborder, entre autres enjeux, celui de l'avenir de l'environnement terrestre. Dans le sillage de la rencontre d'Assise, plusieurs initiatives se sont fait jour, notamment le réseau Conservation and Religion, devenu l'Alliance of Religions and Conservation, qui rassemble plusieurs traditions (bouddhiste, musulmane, chrétienne, hindoue, juive, taoïste, etc.). Aujourd'hui, cette dimension spirituelle est honorée par des courants religieux, parfois qualifiés de Earth-based, qui pratiquent une approche globale et intègrent des éléments des traditions amérindiennes, africaines, asiatiques ou païennes. Dans le foisonnement des courants parareligieux, religieux et philosophiques pratiquant une spiritualité de la biodiversité, il y a celui faisant référence à l'hypothèse Gaïa, proposé par le chercheur anglais James Lovelock dans les années 1970. Si Gaïa, nom de la déesse Terre dans la mythologie antique, existe bien, nous devons en conclure que nous et tous les êtres vivants faisons partie intégrante d'un vaste organisme qui possède dans son ensemble le pouvoir de conserver à notre planète ses caractéristiques vitales.



L'ARBRE MYTHIQUE

SYMBOLES, ARTS POPULAIRES ET RELIGIONS

Les arbres ont joué et jouent toujours un rôle dans l'acquisition des mythes qui ont fondé certaines religions. Ils représentent des symboles culturels variés en fonction de leur espèce.



© British Library



© wikipedia

Beaucoup de peuples protégeaient et vénéraient les arbres isolés comme lieux sacrés, sans doute pour leur caractère symbolique de croissance et de fertilité. Le culte du chêne chez les Celtes et leurs druides est bien connu. Quant au sapin qui défie les intempéries, il magnifie le culte de l'énergie, de la puissance et de la vie au point que son effondrement a quelque chose d'apocalyptique. Comme le rappelle Mircea Eliade dans son *Traité d'histoire des religions*, « jamais l'arbre n'a été adoré rien que pour lui-même... Mais toujours pour ce qui, à travers lui, se révélait... ». Dans la tradition biblique, issue du récit de la tentation dans la *Genèse*, l'Arbre de Vie peut devenir un arbre de mort suivant le comportement de l'homme. L'image de l'Arbre Sacré est très fréquente dans l'art roman où il est représenté sur de nombreux chapiteaux et décrit comme l'Arbre de Jessé (*Isaïe, XI,1,3*).

La tradition du sapin de Noël rappelle une ancienne pratique qui remonte au Moyen Âge. Le jour de Noël, on disposait sur le parvis des églises un arbre auquel on suspendait des pommes. Il symbolisait la chute originelle qui allait être relevée dès que, franchissant le seuil de l'église et assistant à la messe de minuit, on revivait la naissance de Jésus qui venait sauver le monde.

Quant à l'arbre de Mai, il recouvre toute une symbolique. Le mois de mai est entré dans la mythologie comme le mois des fêtes en l'honneur de la végétation, des fleurs, des sources, de l'eau, mais aussi de la fécondité et des forces de la nature. La tradition de l'arbre de Mai est un rite de fécondité lié au retour de la frondaison. Ce folklore est à rapprocher des nombreuses coutumes célébrant l'arbre, notamment du sapin de Noël, ou celle de l'arbre de la liberté établie à la Révolution française. En beaucoup de régions, la coutume de planter un arbre de Mai en l'honneur des élus locaux est très vivace. Les hommes vont chercher l'arbre dans la forêt puis le décorent de drapeaux, de rubans, d'une pancarte portant l'inscription "Honneur à notre élu(e)". Cette tradition s'est parfois étendue aux couples nouvellement installés dans une maison et aux jeunes mariés.

Arbres à loques, arbres à vœux

Arbres à loques dans le Nord de la France, arbres clous en Belgique, clooties (qui vient de cloth (vêtement) en Écosse, rag trees en Irlande... Aujourd'hui encore, ici ou là en Europe, certains arbres sont l'objet de croyances et de pratiques venues de loin dans le temps, et toujours vivantes : on y vient faire un vœu en nouant à une branche un vêtement que l'on a porté. L'idée que certains arbres possèdent le pouvoir de donner de la force aux humains et/ou de recevoir ses maux, de l'en débarrasser par une opération de transfert, s'est développée dans de nombreuses parties du monde, en particulier dans les régions où la forêt représente ou a représenté le paysage principal. Les peuples d'Europe attribuèrent une valeur particulière à certains arbres, comme l'Yggdrasil scandinave ou l'Irminsul saxon, un arbre cosmique, attesté dans plusieurs mythologies, qui relie la terre et le ciel. Pour imposer un nouveau regard sur la nature, celui de la chrétienté, Charlemagne n'aura rien de plus pressé, quand il envahit la Saxe en 772, que de faire détruire l'immense tronc d'arbre représentant l'Irminsul, l'axe du monde des saxons. En Europe, après des siècles de défrichage et de lutte contre ces croyances pour les remplacer par le monothéisme venu du désert, puis par la pensée scientifique, les arbres à loques qui remontent au Néolithique, témoignent de leur survivance. Au fil des nouvelles idées (religieuses, scientifiques) et des persécutions ou réappropriations qui les accompagnent (par exemple par l'érection d'une chapelle à côté d'un arbre sacré), elles sont restées vivantes et cohabitent discrètement avec elles. En sortant de la pharmacie rutilante de lumière, on prend quand même le temps de se glisser dans l'ombre du bois pour nouer une écharpe ou une chaussette à la branche de son arbre à vœux.

Sources : Racine, M. 2009. Introduction à "Métamorphose du Colorès et survivance du bois sacré". Festival international de jardins de Chaumont-sur-Loire.



L'ARBRE DE LA RÉPUBLIQUE

LA NATURE EN SYMBOLE

Souvent érigés en symbole de la nature, les arbres étaient présents sur de nombreux blasons et images du pouvoir. Ils furent également chantés dans la littérature ou dans la musique populaire.

Lors de la Révolution française, l'arbre est devenu un symbole de la liberté : la fête de la Fédération qui fut la première grande manifestation festive de la République s'est déroulée sous un grand arbre non taillé, donc non contraint. C'est cette victoire de l'arbre « libre » sur l'arbre émondé, qui représentait alors la féodalité, engluée dans la routine et des pratiques archaïques, qui lui a donné son statut de symbole de la liberté. L'arbre émondé offrait un spectacle désolant avec ses branches qui ressemblaient à des moignons ; l'arbre de la République était un arbre libre d'envoyer dans le ciel sa ramure imposante en laissant son houppier se développer sans contrainte. Les arbres de la liberté furent plantés dans de nombreuses communes, et ce furent souvent le tilleul et le chêne qui méritèrent ce titre. L'arbre de la liberté reproduisait l'arbre de Mai qui célèbre l'élu de certaines communes en France ou en Italie. L'assimilation de l'arbre à la liberté a permis à Bernardin de Saint-Pierre dans *Entretien sur les arbres, les fleurs et les fruits*. Voyage à l'île de France publié en 1818 d'affirmer que l'arbre était une République : « Chaque partie des arbres est une machine vivante et entière, que



© Wikipédia



© Wikipédia

Arbre de la liberté

© L. Garnier

l'humidité et la chaleur mettent en mouvement. C'est un ouvrage de la nature, bien supérieur aux nôtres. (...) Je pense, Madame, qu'un arbre est une république. »

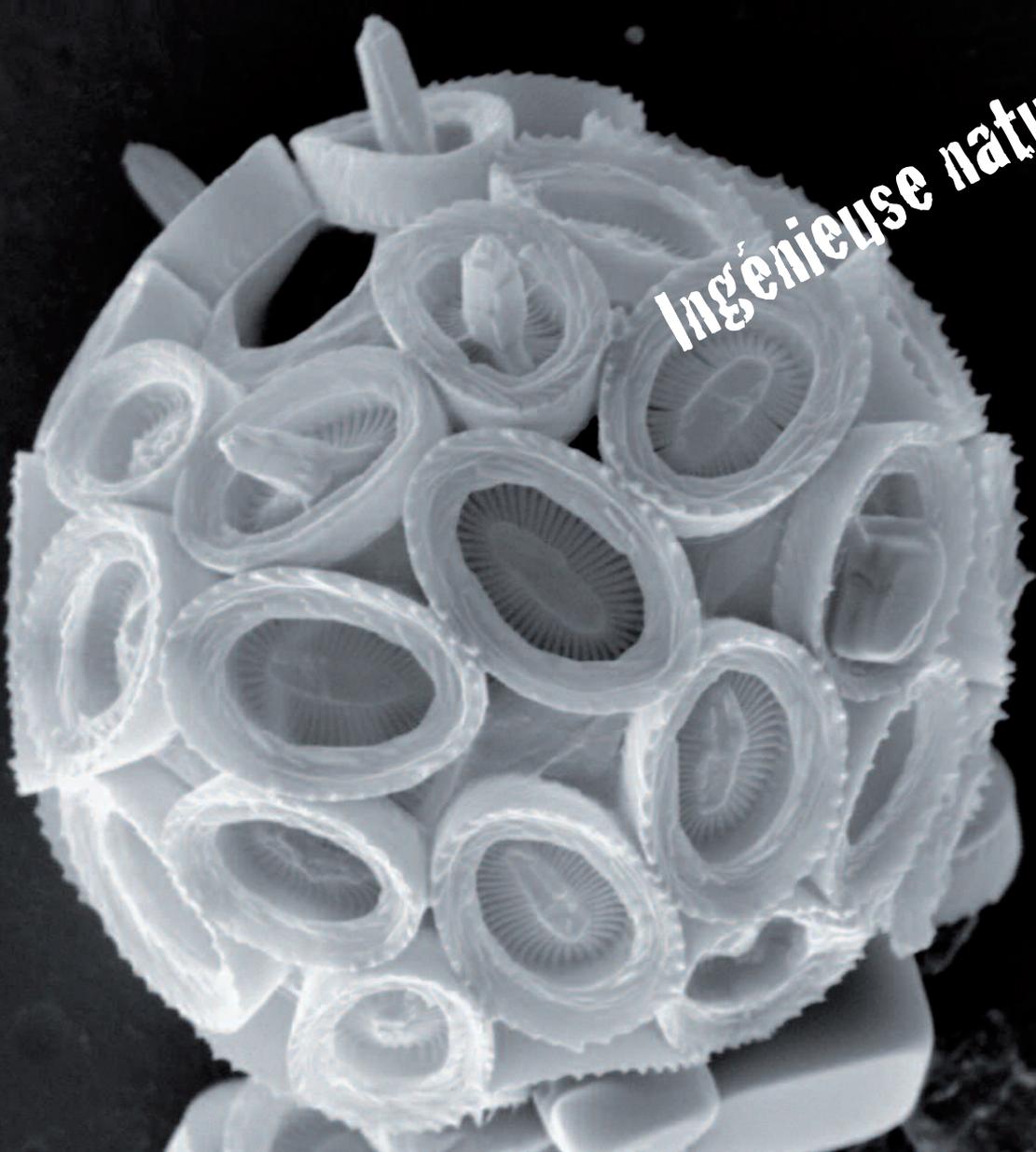
Nombreux sont les écrivains, qui à cette époque, ont loué les vertus des arbres, plus sages que les hommes, car ils savaient transmettre la mémoire en raison de leur longue vie, offraient leur ombre aux hommes et leur révélaient leur puissance. Stendhal fustigea les nouveaux bourgeois ou les paysans qui taillaient les arbres comme de vulgaires plantes potagères. « Couper les branches d'un chêne, c'est couper les bras d'un homme » écrivit Victor Hugo. En 1868, Jules Michelet écrivait dans *La Montagne* : « Dans les villes et dans les écoles, l'esprit subtil et vain peut rire de l'âme des arbres. On n'en rit pas dans le désert, dans les climats cruels du nord ou du midi, où l'arbre est un sauveur. On y sent bien le frère de l'homme. (...) Un arbre, dans les steppes, dans leur infini monotone, oh ! un arbre, c'est un ami ! ».

© Wikipedia



Arbre de la Fédération





Ingenieuse nature

Pour favoriser la protection des écosystèmes et pour faire prendre conscience de la nécessaire gestion de leurs ressources, les scientifiques ont introduit la notion de services des écosystèmes : ce sont les bénéfices que les humains en retirent sans toujours avoir à agir pour les obtenir. Les services d'approvisionnement ou de prélèvement sont les produits que les écosystèmes procurent, tels que les ressources génétiques, la nourriture et les fibres, ainsi que l'eau douce. Mais en « utilisant » ce service, les êtres humains façonnent les écosystèmes et modifient les bénéfices qu'ils en retirent.

Des paysages modelés

La vie forme un vaste réseau d'organismes qui interagissent continuellement, à des rythmes souvent différents mais où les êtres humains s'inscrivent pleinement. Si les castors savent fabriquer des barrages et modifier le débit des cours d'eau, si les pics creusent des trous dans les arbres grâce à leur bec et changent leur aspect, les êtres humains, de par leur nombre et leurs activités, façonnent également leurs lieux de vie.

Depuis le développement de la vie sédentaire et de la domestication des espèces animales et végétales, les populations humaines ont petit à petit modifié les paysages selon leurs besoins, en s'appuyant sur l'utilisation des ressources, renouvelables ou non, des écosystèmes. Encore aujourd'hui, on décèle, en certains lieux, les traces d'activités humaines dans les forêts équatoriales des Amériques datant d'au moins 1000 ans par l'étude du nombre d'essences identiques.

Du prélèvement à la destruction

Ce façonnement des paysages provient du prélèvement des ressources sur une parcelle (coupe d'arbres par exemple) et de sa mise en culture ou d'élevage. Ce mécanisme s'observe sur les parcelles des forêts tropicales d'Amérique et d'Indonésie à l'heure actuelle. Ces transformations peuvent avoir des conséquences irréversibles pour les écosystèmes : un prélèvement sans aucune limite pour la ressource l'épuise sans lui laisser le temps de se renouveler ; une culture ou un



type d'élevage peut profondément modifier les caractéristiques du sol et de la végétation. Sans compter le gâchis de la mort d'un grand nombre d'individus d'espèces qui ne sont pas exploitées, comme c'est le cas lors d'une déforestation et d'une pêche au filet.

Puiser sans épuiser

Pourtant, comme les autres êtres vivants hétérotrophes - qui se nourrissent d'autres organismes vivants ou morts, les êtres humains ont besoin de prélever dans la nature leur nourriture, qu'elle soit issue d'espèces animales et végétales domestiquées ou sauvages. Alors que faire pour puiser sans épuiser ?

Un éleveur sait gérer sa population d'animaux domestiqués. Il ne détruit jamais son troupeau édifié au cours du temps. Son interaction constante avec ses vaches ou ses chèvres lui a fait connaître leurs caractéristiques individuelles. De la même manière, il a appris à reconnaître les aliments préférés de ses bêtes. Et s'il possède un espace fini pour le pâturage, il va gérer au mieux cet espace pour ne pas le détruire. Faut-il y voir un modèle ?

La science de l'écologie, qui étudie les interactions entre les êtres vivants et leur environnement, permet désormais de connaître les caractéristiques des espèces sauvages, de leurs besoins : elle permet de savoir jusqu'où il est possible de prélever des espèces dans les écosystèmes, à la manière d'un éleveur qui doit maintenir « un troupeau » viable. Et puisque l'écologie est une science d'interaction, elle s'attache aussi à définir de quelles autres espèces ont besoin celles qui sont exploitées afin de les gérer, elles aussi.

La gestion des services de prélèvement serait finalement assez facile.... Sauf que les êtres humains vivent en société et que leurs conflits d'intérêt et l'absence de gestion collective agissent généralement négativement sur les écosystèmes. Pour maintenir le tissu vivant de la planète, il va falloir gérer des conflits !

Des variétés

Au cours des millénaires, une variété extraordinaire d'écotypes, de cultivars et de souches génétiques locales a été produite par la culture des plantes et la domestication des animaux dont les caractères étaient adaptés aux particularités climatiques et écologiques de chaque foyer de domestication.



Les êtres humains ont, au cours de leur histoire, sélectionné et diversifié de nombreuses espèces animales et végétales. Cette biodiversité n'est pas valorisée. Seules une quinzaine d'espèces de plantes cultivées et moins de dix espèces animales terrestres domestiquées (mammifères et oiseaux) dominent actuellement le marché de l'alimentation mondiale.

QUAND LES HUMAINS CRÉENT DE LA BIODIVERSITÉ

LE SERVICE DE LA BIODIVERSITÉ DOMESTIQUE EST SOUS-ESTIMÉ

L'histoire de la domestication des plantes et des animaux dans le bassin méditerranéen est celle d'une remarquable diversification de races animales et de variétés de plantes que les humains réalisèrent au cours de millénaires de sélection dirigée. Cette sélection fut d'autant plus facile que cette région est naturellement disséquée en une myriade de territoires où plantes et animaux sauvages ont évolué différemment en raison de leur isolement lors de l'alternance des épisodes glaciaires.

La combinaison de cette diversité génétique naturelle et de la sélection opérée par les premiers agriculteurs et éleveurs produisit une étonnante diversité de végétaux et d'animaux. Des centaines de variétés d'olives, d'amandes, de céréales, de vignes et de légumes ont ainsi été créées par les humains, chaque race étant étroitement adaptée aux conditions locales de climat, de sol, mais aussi de culture humaine. Au début du 20^e siècle,



il existait encore 382 variétés d'amandiers sur la seule île de Majorque. Quant à l'olivier, on estime que plus de 600 variétés locales ont été sélectionnées dans le bassin méditerranéen à partir de trois formes de l'olivier sauvage, l'oléastre. Pour le biologiste israélien Zohari, l'invention de l'agriculture a divisé le monde végétal en deux ères, l'ère « pré-ségétale » (du latin *seges*, moisson) d'avant l'agriculture et l'ère ségétale qui se développa au Moyen-Orient, dans le croissant fertile. L'invention de systèmes de stockage des provisions résultant de l'agriculture permit aux populations du Néolithique de se sédentariser.

Quant aux animaux, toutes les variétés connues de moutons, de chèvres, de bovins et de chevaux, sans parler des chiens ou des pigeons, sont le fruit de siècles de sélection : en témoignent les 145 variétés de bovidés, les 49 variétés de moutons et la centaine de variétés de chèvres.

La disparition de la plupart de ces races locales est une perte réelle mais de gros efforts sont actuellement consentis pour préserver et restaurer ce patrimoine.



Sources : Zohary, D. & Hopf, M. 1993. Domestication of plants in the Old World. Oxford, Clarendon Press.

Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J.-Y. & Boeuf, G. 2010. The Mediterranean region. Biodiversity in space and time. Oxford University Press.

Le coin du philosophe

Une nature plus ou moins naturelle

La domestication nous renvoie à la difficulté de tracer la frontière qui sépare le naturel de l'artificiel. Entre un aigle de Bonelli et un champ de maïs OGM, la différence semble évidente. Mais ces deux exemples sont les extrémités de ce qui ressemble plus à un *continuum* qu'à des compartiments étanches : populations marronnes, qui sont des espèces sauvages ayant co-évolué avec les sociétés humaines, populations non-indigènes transportées par les humains et potentiellement envahissantes sur leurs terres d'accueil, espèces volontairement réintroduites dans un habitat d'où elles avaient disparu, sont autant d'éléments de la biodiversité qui n'ont pas la même valeur du point de vue de la conservation. Alors, s'il ne suffit pas de distinguer ce qui est naturel de ce qui ne l'est pas, comment décider quelle biodiversité mérite d'être protégée ?



MOUFLONS ET SANGLIERS CORSES

QUAND LES ESPÈCES DOMESTIQUES RETOURNENT À L'ÉTAT SAUVAGE

En domestiquant les animaux et les plantes, les êtres humains ont favorisé l'émergence d'une grande diversité de races domestiques. Mais il arrive que ces dernières retournent à l'état sauvage, retrouvant ainsi leurs fonctions de jadis.



© J. Blondel



© R. Bartz

On s'imagine habituellement que les grands mammifères de Corse comme le mouflon ou le sanglier sont des espèces sauvages. Ce n'est pas vraiment le cas. Les populations actuelles de ces espèces descendent en effet d'animaux domestiques introduits par les humains il y a très longtemps. On dit qu'elles se sont marronnées, le marronnage étant le processus évolutif par lequel des individus captifs ou domestiques retournent à la vie sauvage et recouvrent peu à peu une « morphologie », un phénotype, qui les rapproche de celui de la population dont elles descendent. En effet, l'une des principales conséquences de la domestication étant de soumettre les individus à une sélection dirigée, la disparition des facteurs de sélection orientée livre la population aux régimes naturels de sélection.

Le mouflon de Corse est le produit du marronnage de moutons domestiques introduits sur l'île vers le 6^e millénaire avant Jésus-Christ. Le mouton domestique descend lui-même du mouflon d'Asie Mineure, *Ovis orientalis*, qui est à l'origine de toutes les formes de moutons domestiques introduites sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique. L'origine domestique du mouflon de Corse, tout comme celle des populations de Sardaigne et de Chypre, est attestée par une série d'analyses sur la morphologie, les groupes sanguins puis, plus récemment, à partir d'analyses de molécules d'ADN des mitochondries, de minuscules structures trouvées dans les cellules. Dans un but d'augmenter le gibier, des individus corses de cette forme marronne de mouton ont été introduits dans le sud-est de la France, par exemple dans le Mercantour en 1949.

Quant au sanglier qui n'a pas d'ancêtre autochtone en Corse, il y a été introduit aux environs de 5 500 avant J-C, probablement sous la forme de cochons domestiques. C'est à partir des premiers animaux d'élevage ou de leurs descendants déjà marronnés que se sont constituées les premières populations de sangliers corses dans le courant du Néolithique. On peut ainsi observer un type génétique intermédiaire entre le sanglier et le porc dans les populations sauvages de sangliers corses.

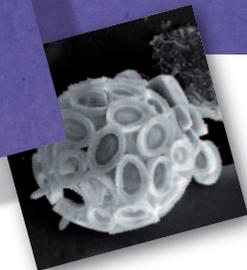


Source : Pascal, M., Lorvelec, O. & Vigne, J.-D. 2006. Invasions biologiques et extinctions. Belin, Paris.



Des paysages

Si les êtres humains sont capables de détruire des habitats et surexploiter les ressources naturelles, qu'elles soient renouvelables ou non, ils sont aussi capables de valoriser et d'utiliser intelligemment les fonctions écologiques de la biodiversité. Certains paysages sociaux ayant contribué à favoriser la diversité des espèces. Mais c'est aussi parce que les humains ont laissé le temps à la nature de s'installer.



Créés de toutes pièces par les populations humaines côtières, pour des intérêts agricoles, piscicoles et aquacoles, les marais atlantiques salés sont désormais des hauts lieux de biodiversité et d'éco-tourisme.

LES MARAIS SALÉS

QUAND LES ÊTRES HUMAINS FAVORISENT « LA BIODIVERSITÉ »

Si l'élaboration de digues a débuté six siècles environ avant J-C le long de côtes abritées, la construction des marais atlantiques salés remonte au Moyen Âge. Vers l'an mille, des salines existaient déjà sur la côte atlantique de l'estuaire de la Gironde au nord de l'embouchure de la Loire, où les échanges régionaux de sel étaient importants. Leur développement décisif remonte au 11^e et 12^e siècle, avec une dimension internationale dès le 13^e siècle.

Véritables zones artisanales, marais à poissons, élevages de crevettes ou de mollusques (huîtres, palourdes), ces marais nécessitent un entretien permanent. Ce peut être par le creusement de bassins, le rehaussement de digues (profondeur de 50 à 120 cm), le renouvellement de l'eau, l'enlèvement des sédiments et des algues, etc. Mais lorsque cet entretien cesse, les marais sont en déprise et risquent une perte de la diversité des espèces.



Pourtant, la biodiversité locale peut être une vraie valeur ajoutée à l'élevage associé, comme c'est le cas en ostréiculture, où les vases des marais favorisent la présence de la navicule bleue, une diatomée (organisme unicellulaire photosynthétique) appelée *Haslea ostrearia*, qui donne la couleur bleutée caractéristique des branchies de certaines huîtres. En marais poitevin, la préservation des anguilles est une valeur ajoutée à la région du point de vue touristique et culinaire. Les marais sont aussi devenus des lieux d'observation des oiseaux faciles à observer tels que les hérons, les vanneaux, les tadornes de Belon, les multiples bécasseaux et chevaliers, les cigognes et spatules. En témoigne le succès des marais de l'île de Ré qui ne désespèrent pas de vacanciers. Mais toute la difficulté de notre époque est de ne pas les sanctuariser afin de pérenniser leur entretien et de les gérer au travers d'activités durables (agriculture et pisciculture extensive, ostréiculture, élevage de crevettes, fossés à poissons, écotourisme) ou en devenir comme l'aquaculture intégrée et la production de micro-algues.



Source : Hocquet J.C. & L.L. Sarrazin, 2006 (Ed.). Le sel de la baie : histoire, archéologie, ethnologie des sels atlantiques. Presses Universitaires de Rennes.

Pour en savoir plus : <http://www.forum-marais-atl.com/>

Chiffres

Sur la façade atlantique de la France, les marais salés endigués s'étendent sur 27 000 ha.



LES CARRIÈRES DE GRANULATS

LA CRÉATION D'ÉTANGS ARTIFICIELS PEUT FAVORISER LA BIODIVERSITÉ

La diversité des conditions écologiques et des configurations géographiques des carrières, selon qu'elles sont ou non temporaires et connectées à d'autres plans d'eau, confère à ces systèmes d'origine humaine un intérêt écologique, cynégétique et halieutique.



© wikipedia



© J. Blondel

Les constructions d'autoroutes et de bâtiments divers nécessitent des tonnages impressionnants de matériaux, notamment de granulats alluvionnaires qui sont extraits de carrières qui, au terme de leur exploitation, constituent de nouveaux plans d'eau de dimensions moyennes. Dans le département de la Côte d'Or en France, il existe plusieurs centaines de ces plans d'eau de carrière. Alimentés par l'eau de la nappe phréatique, ils sont peu profonds, de dimensions modestes - la plupart font moins de 10 ha -, et proches les uns des autres. Ces habitats d'origine humaine constituent des modèles privilégiés pour suivre l'évolution temporelle de nouveaux écosystèmes.

Dans tous les cas, la colonisation spontanée de la faune se réalise très rapidement. Le nombre d'espèces colonisatrices des jeunes carrières est d'emblée très élevé et se recrute à partir d'espèces pionnières inféodées aux zones humides, aux étangs ou aux milieux fluviaux. Des inventaires réalisés au cours des différentes phases de peuplement de ces milieux font état de centaines d'espèces parmi lesquelles des bryozoaires et coelentérés, des mollusques, des crustacés (y compris des espèces exotiques potentiellement envahissantes comme l'écrevisse américaine *Orconectes limosus*), des insectes (hémiptères, libellules, éphéméroptères, trichoptères, diptères, coléoptères etc.), des poissons introduits pour la pêche de loisir (carpe, gardon, brochet, perche, etc.), des amphibiens (au moins cinq espèces), des mammifères (tels le rat musqué qui est un hôte régulier et la musaraigne aquatique) et, bien sûr de nombreuses espèces d'oiseaux (hirondelle de rivage, petit gravelot, vanneau, grèbe, canard, martin-pêcheur, râle d'eau, poule d'eau, rousserolle etc.).

Cette faune comprend beaucoup d'espèces assez généralistes, mais elle est bien typée au point de constituer des assemblages d'éléments très caractéristiques de ce type d'habitat, que l'on trouve de manière constante dans les diverses carrières en eau. La bonne qualité de l'eau garantit le maintien de communautés écologiquement exigeantes mais, une fois la carrière

abandonnée, les conditions initiales d'habitat changent au fil des ans, entraînant des modifications des peuplements végétaux et animaux. Dans les carrières en eau permanente, la richesse et l'originalité des communautés culminent peu de temps après l'abandon de l'exploitation, puis elles diminuent et se stabilisent.



Pour en savoir plus : Frochot, B., 2010. Un milieu en perpétuel changement : l'exemple des carrières de Bourgogne. Pages 268-283 in J.-Cl. Lefeuvre (ed). Carrières, biodiversité et fonctionnement des hydrosystèmes. Buchet-Chastel - Paris.



© Wikipédia

La tortue, délice des Princes et gros Seigneurs

Tel est le titre du livre de Charles Estienne et Jean Liebault, publié en 1572. A cette époque, la tortue dite « boueuse » (*Emys orbicularis*), petite tortue aquatique ne dépassant guère 20 cm pour un poids d'un kilo au maximum, était répandue dans une grande partie de l'Europe mais son aire de répartition s'est fortement contractée. Elle est encore commune dans plusieurs régions de France comme la Camargue, la Brenne et d'autres zones humides. Elle était autrefois un met de roi, même si Pierre Quiqueran de Beaujeu (1526-1550), évêque de Senes à 18 ans, y préfère la tortue terrestre « tant pour y avoir plus à manger que pour estre plus saines et plus plaisantes au goût ».

A la fin du 18^e siècle, l'engouement pour cet animal est à son comble comme en témoigne la tentative d'élevage engagée par le baron de Rivière, propriétaire d'un domaine en Camargue : « après en avoir dessalé les lagunes par l'introduction des eaux pluviales, je me procurai, chez les fournisseurs d'Arles, une vingtaine de très petites tortues qui pouvaient peser environ chacune 50 grammes. Deux ans après, elles avaient multiplié, et, de plus, le poids de plusieurs d'entre elles s'était élevé à un demi-kilogramme » (propos rapportés par le Dr Ruftz en 1859). Fort de cette expérience, il en conclut qu'il « serait très à souhaiter qu'on donnât des soins à la multiplication des tortues boueuses dans le Midi de la France, car leur chair est très nourrissante et de facile digestion ; elle a un certain goût sauvage que les cuisiniers ont de la peine à dissimuler par les assaisonnements, mais en compensation les médecins l'estiment beaucoup plus que la tortue de mer ». Puis il poursuit en disant qu'« il est peu de nouveaux mets qu'on puisse présenter sur nos tables, et même certains d'entre eux, comme les truffes et les tortues, deviennent de plus en plus rares, et par conséquent plus chers. Mais je fais infiniment plus de cas des tortues que des truffes ! » Outre son intérêt culinaire, cette tortue a aussi des vertus médicinales comme le rapporte Jean Crespon, fondateur du Muséum de Nîmes qui précise en 1844 que « plusieurs personnes dans le pays (le Gard) en prennent quelquefois beaucoup, et les apportent à nos pharmaciens qui les emploient pour remèdes ... ».

© L. Garnier

DES MARAIS ASSÉCHÉS

DES CULTURES CÉRÉALIÈRES AUX DÉPENS DES ZONES HUMIDES

Au cours de l'histoire, les services écosystémiques de certains habitats ont évolué en d'autres services, modifiant les paysages, les pratiques et savoirs locaux humains.

Les zones humides de tourbières, des plaines intérieures et des vallées alluviales, ainsi que celles bordant le littoral, ont longtemps été fondamentales pour les campagnes d'autrefois. Plantes et animaux, sauvages et domestiqués, y étaient abondants mais surtout plus diversifiés que dans les plaines céréalières. Ils offraient ainsi des apports nutritionnels plus importants, atténuant les famines traditionnelles sous l'Ancien Régime.

On peut citer les nombreux élevages favorisés par le fourrage produit par les roselières, comme en vallée de la Loire, ainsi que les bovins de Camargue, les moutons des près salés, les élevages de canards du marais breton, etc. Les élevages de poissons de la Bresse, de la Brie et de la Dombes étaient largement destinés à la consommation urbaine. En zone humide, on produisait du chanvre au profit de l'industrie de la toile. Les saussaies étaient utilisées dans l'artisanat de l'osier, les roseaux et peupliers, pour le bois et comme matériaux de construction. La tourbe séchée des tourbières servait de combustible pour le chauffage, notamment urbain. Et puis, on l'oublie mais, à cette époque, le ramassage des sangsues, espèce aujourd'hui presque disparue, était courant et portait toute une économie.

A partir du 17^e et surtout du 18^e siècle, ces zones subissent une marginalisation sociale de plus en plus forte. Un parti pris orchestré par les physiocrates représentés par des économistes, médecins et chimistes condamne les marais, mettant l'accent sur l'insalubrité des lieux. Face au besoin d'accroître la production céréalière, les physiocrates jugent alors « inutiles » les rieds alsaciens, ces marais bordant les berges du Rhin. Pour nourrir une population en croissance démographique, ces zones sont des « obstacles au progrès », au développement de l'agriculture.



En 1807, les espaces de marais sont estimés en France à 500 000 ha ; en 1833 une enquête diligentée par le ministère des Travaux Publics en comptabilisait 240 000 ha.

Plus d'un siècle plus tard, la définition des « marais » s'est modifiée. On parle désormais de zones humides. Elles s'étendent à d'autres milieux. En 2004, sur le territoire de la France métropolitaine, on en comptait 2,4 millions d'hectares répartis en quatre types : plaines intérieures, vallées alluviales, littoral méditerranéen, littoral atlantique, Manche et mer du Nord.



RADIS ET CAPUCINE EN VILLE

FLEURS ET CULTURES POTAGÈRES EMBELLISSENT LE QUOTIDIEN

Lié au développement industriel du 19^e siècle, l'essor des jardins ouvriers a constitué une forme sociale de contribution à la biodiversité. Ces jardins favorisent la production de légumes et de fruits variés et l'échange entre voisins : semences, boutures, outils, recettes et pratiques d'amélioration et de diversification de la production.



© Y. Luginbühl



© Y. Luginbühl

Les jardins familiaux ont connu un essor considérable en Europe du nord puis en Europe de l'est lors de l'instauration de l'économie collectiviste. Ils avaient pour objectif de soustraire les ouvriers de la grande industrie sidérurgique et minière à l'excès de la boisson et au désœuvrement après les heures de travail.

Alors que l'économie agricole était entièrement tournée vers les besoins de l'industrie agroalimentaire, une véritable passion jardinière s'est développée dans les pays d'Europe centrale. Aujourd'hui, le nombre de jardins familiaux et ouvriers y est considérable et marque le paysage périurbain de toutes les grandes villes et parfois les alentours des villages. En Pologne par exemple, les jardins sous contrat municipal sont au nombre de 900 000.

Sans être propriétaires, les jardiniers ont mis en place une horticulture potagère, fruitière et ornementale exceptionnellement inventive, fondée sur les échanges mutuels et la quête des variétés rares. Les produits phytosanitaires étant trop onéreux, ils ont développé des techniques permettant de lutter biologiquement contre les maladies cryptogamiques et les parasites, mais également de produire des engrais ou encore de mettre en place des techniques d'arrosage astucieuses. Ils révèlent également une créativité esthétique singulière avec des parterres de légumes et de fleurs organisés dans un évident souci de se distinguer aux yeux de la communauté des jardiniers et de contribuer, dans les lotissements de jardins, à l'intérêt général et au bien-être de la collectivité. Dans la plupart des lotissements de jardins, des règlements organisent la vie des familles de jardiniers et leur permettent d'accéder à des cours d'horticulture ou de partager une culture jardinière commune. La chute du régime collectiviste a mis fin à ces pratiques : l'ouverture au marché mondial de l'horticulture et du jardinage

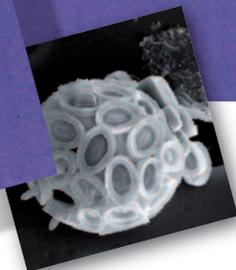
commercial, le changement des rythmes de travail et les nouvelles contraintes sociales pèsent fortement sur la capacité des jardiniers à poursuivre cette horticulture diversifiée. La pelouse, plus aisée à entretenir et moins consommatrice de temps remplace de plus en plus les parterres de légumes et de fleurs. L'arrivée des supermarchés de plantes a également brisé les échanges mutuels d'espèces et les jardiniers s'en remettent à l'achat de végétaux dont l'origine n'est pas toujours garantie. Anciens havres de biodiversité, ces jardins perdent leur originalité et leur contribution à l'aspect bucolique des anciens paysages périurbains.



En France, les jardins ouvriers ont été promus par l'Abbé Jules-Auguste Lemire dont l'association la « Ligue française du Coin de Terre et du Foyer » a été fondée en 1896. Elle est devenue la Fédération nationale des jardins familiaux et collectifs. Aujourd'hui, plusieurs types de jardins partagés existent en France : les jardins familiaux fermés, les jardins d'insertion sociale, les jardins familiaux ouverts, les jardins communautaires, les jardins collectifs, les jardins d'insertion économique et les jardins éducatifs.

Des champs

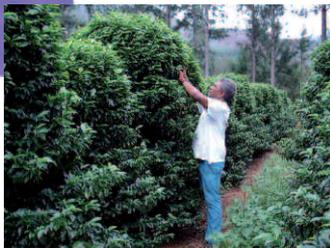
La biodiversité intervient dans les revenus agricoles puisqu'elle agit sur les rendements et la qualité des produits. La diversité floristique des prairies a, par exemple, un effet avéré de stimulation de l'appétit des herbivores domestiques. La biodiversité contribue également au bon fonctionnement des agro-écosystèmes par des contrôles biologiques (rôle des ennemis naturels des ravageurs, des pollinisateurs...) et une disponibilité en eau et éléments minéraux pour les cultures. La diversité de la flore, de la faune et des microorganismes du sol, agit sur ses caractéristiques comme sa fertilité.



DES CAFÉIERS PROTÉGÉS

QUAND LES OISEAUX REMPLACENT LES INSECTICIDES

Utiliser les forces naturelles permet d'économiser du temps et de l'argent.



© IRD-D. Le Pierres

Le coléoptère *Hypothenemus hampei* est l'un des plus redoutables ravageurs des plantations de café un peu partout dans le monde, et notamment en Amérique centrale et dans les Caraïbes. Des expériences réalisées en Jamaïque ont permis de démontrer que les oiseaux qui fréquentent les plantations réduisent significativement les populations de ce coléoptère, et de ce fait, améliorent considérablement les revenus des paysans. Les bénéfices ainsi réalisés grâce aux oiseaux ont été calculés avec précision en comparant les récoltes réalisées en plein champ avec celles produites dans des enclos qui empêchent les oiseaux d'y entrer. L'économie en pesticides chimiques s'est élevée à 75 dollars américains par hectare et par an dans les fermes situées en altitude et jusqu'à 310 dollars par hectare et par an dans celles situées dans les lieux les plus favorables.



Source : Damon, A. 2000. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera : scolytidae). Bull. Entomol. Res. 90 : 453-465.

LES GUERRIERS DES CULTURES

LES BANDES À CARABES

Ennemie de nos ennemis, la grande majorité des espèces de carabes est particulièrement utile à favoriser dans les paysages agricoles. Les bandes enherbées en bordure de champs réduisent la surface cultivable mais permettent d'utiliser un service naturel pour lutter contre les « ravageurs » des cultures.

© L. Betts
USDA Natural Resources Conservation Service



Dans les « forêts » d'herbacées et de plantes cultivées, les carabes aux élytres cuirassés sont de redoutables prédateurs. Notamment des limaces. Ce qui les place en « top liste » des insectes auxiliaires des cultures. Leurs larves, présentes dans le sol, sont encore plus carnivores que les adultes. 90 % de ces larves se nourrissent d'œufs, de jeunes limaces, d'escargots, et d'insectes à l'état larvaire et adulte comme les indésirables taupins et pucerons.

Ennemie de nos ennemis, la grande majorité des espèces de carabes est donc une biodiversité utile à soigner et favoriser dans les paysages agricoles. Mais au vu du nombre d'espèces aux exigences de vie différentes (forêts, prairies ou champs) et aux mobilités variables (certaines se déplacent, d'autres non), la tâche n'est pas si aisée.

La technique des bandes à carabes porte cependant ses fruits. Ces bandes sont des parcelles non cultivées ou qui ont été semées de graminées longeant les champs cultivés. Leur avantage tient à leur accueil des espèces d'insectes prédateurs tels que les carabes et les arthropodes, comme les araignées, qui viennent y hiverner. Dès la repousse printanière, ces espèces se déploient dans les champs adjacents et se nourrissent des prédateurs des cultures. Au retour de l'hiver, les carabes s'étant reproduits retournent hiverner dans les bords de champs et les toutes jeunes larves restent enfouies dans les quinze premiers centimètres du sol du champ cultivé. C'est pourquoi les carabes sont plus profitables aux champs de céréales d'hiver, et en particulier de l'orge, qui ne subissent pas de travail du sol au printemps.



Source : COLLINS, K. L. et al. 2002. Influence of beetle banks on cereal aphid predation in winter wheat. Agriculture, Ecosystems & Environment, 93 : 337-350.



DES PLANTES QUI SE PASSENT D'ENGRAIS

LES LÉGUMINEUSES, LES CLÉS DES NOUVELLES AGRICULTURES

Les légumineuses sont capables d'enrichir les sols en molécules azotées utilisables par les autres plantes, tout en ayant des caractéristiques diététiques intéressantes : elles sont une composante essentielle des nouvelles formes d'agriculture, et de l'alimentation du futur.

La famille des légumineuses regroupe des espèces ayant en commun la capacité de puiser l'azote nécessaire à leur croissance dans l'atmosphère et de se passer ainsi d'apports d'engrais azotés. Cette propriété est due à une association étroite de ces plantes avec des bactéries présentes dans des organes particuliers des racines, ou plus rarement des tiges, les nodosités. Dans des conditions favorables, cette fixation d'azote peut atteindre 300 kg/ha/an et l'on estime qu'elle représente sur l'ensemble de la planète l'équivalent des engrais azotés produits par l'industrie chimique.

On trouve dans cette famille des espèces herbacées à cycle annuel, comme les haricots, les fèves ou le soja, des herbacées vivaces, comme la luzerne, mais aussi des arbres comme le robinier.

Ces plantes sont donc capables d'enrichir les sols en molécules azotées utilisables par les autres plantes, d'où l'intérêt actuel pour le développement de cultures ou de prairies mixtes associant par exemple des céréales ou des oléagineux avec des légumineuses (blé et pois, tournesol et soja, trèfle et graminées fourragères).

Il serait d'ailleurs plus exact de parler de « redécouverte » de ces associations, car de nombreuses agricultures traditionnelles les utilisent depuis toujours.

Outre cette capacité à se passer d'engrais azotés, ces plantes produisent également des graines particulièrement riches en protéines (d'où le terme parfois utilisé de « protéagineux »), qui peuvent remplacer plus ou moins complètement les protéines animales dans l'alimentation humaine et dans celle des animaux d'élevage.

Ces diverses propriétés amènent à considérer les légumineuses comme une composante essentielle de nouvelles formes d'agriculture, et peut-être aussi de l'alimentation du futur, et les chercheurs s'attachent à comprendre les facteurs favorisant l'établissement et le fonctionnement de ces symbioses entre les plantes et les bactéries, qui sont plus ou moins efficaces selon les sols, les variétés ou les conditions de culture.



DES POIRES ET DES INSECTES

EXPÉRIENCES AUX VERGERS

Un contexte paysager favorable avec des habitats semi-naturels autour des plantations de vergers permet de limiter les attaques des parasites.



© L. Garnier



© J.-F. Debras-INRA

Pour protéger la production de poires dans les vergers et réduire l'utilisation d'intrants chimiques, rien ne vaut une haie plantée et diversifiée. Adoptée après expérimentation dans le département des Bouches-du-Rhône en France, cette méthode, désormais subventionnée par la chambre d'agriculture de cette région, a permis de satisfaire à des objectifs de maintien d'ennemis naturels de l'arboriculture.

La diversité végétale au sein des vergers de production de fruits, le plus souvent composés d'une seule variété de la même espèce, est en effet particulièrement réduite. Cette absence de diversité rend les arbres d'autant plus vulnérables aux attaques des parasites et ravageurs.

L'idée des chercheurs a donc été d'augmenter la biodiversité dans l'environnement du verger pour préserver et favoriser les insectes auxiliaires actifs au verger. Ces insectes s'attaquent en effet principalement à d'autres insectes pouvant être porteurs de maladies et qui se nourrissent des fruits, des feuilles ou de toute autre partie des arbres cultivés. C'était un challenge puisqu'il ne fallait pas que les haies en mélange augmentent aussi les populations et la diversité de ces insectes destructeurs des vergers.

Après études, les chercheurs ont identifié les principes de base permettant de créer une diversité contrôlée dans l'environnement du verger. Ils utilisent des arbres tels que le noisetier ou le sureau, hébergeant des pucerons spécifiques qui n'infestent pas les fruitiers mais nourrissent une population diversifiée d'auxiliaires, actifs à chasser dans les vergers. Les espèces à feuilles persistantes, à tiges creuses ou entrelacées, leur procurent un abri pour l'hiver (arbousier, lierre, etc.).

Cette manière de créer les haies de bordure des vergers s'est montrée non nuisible vis-à-vis du verger et des cultures locales. Elle permet surtout d'abriter et de nourrir, par la présence de pollen, de nectar et surtout de proies, une diversité d'insectes auxiliaires du verger tout au long de l'année.

Les savoirs locaux et ancestraux des populations se sont perdus au cours du 20^e siècle. Pourtant, de nombreuses techniques culturales ou de récoltes étaient basées sur la connaissance des spécificités et de la variété de la faune et de la flore d'un lieu. Les services fournis par la biodiversité étaient reconnus.



© Florentine codex



© Florentine codex

LES TROIS SŒURS

LE SERVICE DES CULTURES MÉLANGÉES

La légende iroquoise des trois sœurs raconte l'histoire suivante : la plus jeune, si petite qu'elle ne pouvait que ramper, portait du vert ; la moyenne, qui aimait courir, portait du jaune vif et la plus âgée, qui était grande et droite en surveillant ses sœurs, avait de longs cheveux flottant au vent, et portait du vert pâle. Les plus jeunes sœurs disparurent l'une après l'autre. La plus âgée les ayant pleurés les retrouva après avoir mûri, lorsqu'un petit humain l'emporta au sein de son logis.

Cette légende est la référence symbolique à une très ancienne pratique des Indiens des États Unis qui consiste en une culture mixte de haricots, de courges et de maïs, respectivement la jeune, la moyenne et la grande des « trois sœurs ». Ces trois espèces ont longtemps été à la base du régime de ces civilisations. La courge couvre le sol et limite la pousse des mauvaises herbes, le haricot utilise le maïs comme tuteur et ses *rhizobium* apportent de l'azote au système. Ces trois plantes sont éloignées d'un point de vue taxonomique. Elles ont aussi des exigences écologiques différentes qui permettent de limiter les risques liés au climat ou aux ennemis des cultures. Par exemple, les haricots peuvent se développer lors d'un été frais et humide quand le maïs n'arrivera pas à maturité et que les courges seront de petite taille et pleines de graines.

D'un point de vue nutritif, elles apportent des ressources complémentaires. Le maïs apporte des glucides alors que le haricot apporte des protéines. Les graines de la courge



Des champs cultivés diversifiés favorisent la présence des insectes auxiliaires, des insectes dont le rôle est de lutter contre les prédateurs des plantes cultivées.



© J.Fraginiere

VIVE LES MÉLANGES ! LES BIENFAITS DES POLY CULTURES

contiennent des lipides absents des deux autres légumes, et ses fruits sont riches en vitamines. Ces trois aliments hautement nutritifs étaient à la base du régime des tribus indiennes et des premiers colons et furent célébrés à la première fête de thanksgiving organisée par les colons pour remercier les indiens de leur aide.



© Wikipédia

Des cultures d'espèces mélangées contiennent moins d'insectes herbivores « ravageurs » que des champs homogènes. En semant, par exemple, du ray-grass dans les inter-rangs de maïs, la température au niveau du sol diminue et l'hygrométrie augmente. Ces conditions micro-climatiques ont l'avantage d'être favorables à des insectes, les trichogrammes, ennemis naturels des insectes herbivores. D'une taille inférieure à un millimètre, les trichogrammes sont des parasites de la pyrale du maïs, qui est un papillon à l'état adulte et une chenille dévoreuse des tiges de maïs à l'état larvaire. Les adultes trichogrammes pondent dans les œufs des pyrales et les empêchent de se développer.

Plus généralement, les polycultures augmentent la formation de micro-habitats favorables aux ennemis naturels des parasites des plantes cultivées. A l'opposé, en offrant une ressource concentrée et un milieu très homogène, les monocultures favorisent les parasites sans attirer leurs prédateurs.

Les populations humaines sont en éternelle compétition avec les ravageurs des cultures. Pourtant, nombre de parasites et de prédateurs les aident chaque jour dans cette lutte en s'attaquant eux-mêmes à ces ravageurs. Alors, quand ces contrôleurs naturels disparaissent, avec leurs services assurés gratuitement, les conséquences sur l'économie et l'environnement sont importantes.

FAIRE CONFIANCE AUX CHAUVES-SOURIS

UN CONTRÔLE BIOLOGIQUE GRATUIT

La chauve-souris brésilienne, *Tadarida brasiliensis*, est un insecticide naturel. Chaque printemps, après avoir hiberné au centre et au sud du Mexique, *Tadarida brasiliensis* migre vers le nord de ce pays et le sud-ouest des États-Unis pour former d'immenses colonies de reproduction. 20 millions d'individus ont été recensés dans certaines d'entre elles. Chaque nuit, plus de 100 millions de chauves-souris se dispersent alors hors des grottes et des ponts, où elles s'abritent durant le jour, pour se nourrir. Or, *Tadarida brasiliensis* se nourrit de plusieurs espèces de lépidoptères de la famille des noctuelles, dont les larves sont de sérieuses pestes agricoles. Comme la redoutable chenille des épis de maïs (*Helicoverpa zea*) ravageur des cultures de maïs mais aussi de coton et de toutes sortes de légumes. En période estivale, les chauves-souris mères qui allaitent ingèrent jusqu'à deux tiers de leur masse corporelle chaque nuit ! Autant dire une sérieuse aide pour les cultivateurs. La société « chauve-souris & Co », si elle existait, représenterait en moyenne 741 000 dollars par an dans huit comtés du Texas. Un chiffre estimé à partir des revenus économisés par les chauves-souris sur les cultures de coton. C'est près de 15 % de la valeur totale de la récolte.



PRODUIRE MIEUX ET PLUS

Depuis des millénaires, les variétés locales cultivées constituent la meilleure protection contre les maladies et parasites des cultures, au point que les fongicides peuvent paraître « démodés ».



© G. Liebégue

UN MODE D'AGRICULTURE EFFICACE EN CHINE

En Chine, dans la province du Yunnan, pesticides et fongicides sont bannis des rizières. Et ce pour une raison simple : les agriculteurs font confiance à la diversité de leurs variétés cultivées pour combattre la flétrissure du riz, maladie hautement destructrice.

Jusque dans les années 1990, la flétrissure, causée par un champignon, était combattue par des traitements fongicides coûteux. L'équipe du chercheur Youyong Zhu a eu l'idée de coopérer avec les agriculteurs en cultivant sur 812 hectares une variété traditionnelle, résistante au champignon, mélangée à d'autres plus productives. Les résultats ont été spectaculaires : la production a augmenté de 89 % et le taux d'infection par le champignon a tellement chuté qu'au bout de deux ans, les fongicides n'étaient plus utiles !

Ce succès s'explique par la présence de plusieurs variétés en mélange. Chacune offre une première barrière physique à la dispersion des spores du champignon. Ensuite, chaque variété possède son propre processus d'immunisation : lorsqu'un pathogène tente d'infecter un plant de riz résistant, il active ses mécanismes de défense, qui vont le préparer à résister à d'autres pathogènes, pour lesquels il ne montrait aucune résistance. Le mélange des variétés de riz fonctionne finalement comme une sorte de vaccin. Chaque variété s'immunise contre les formes de champignons parasites des autres... Cette complexité structurale et génétique de la culture ralentit ainsi l'évolution et l'adaptation des agents pathogènes.

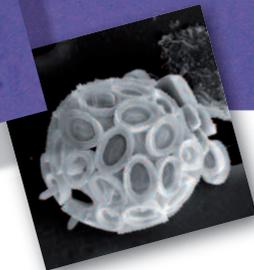
Pour preuve du succès, le nombre d'hectares cultivés avec cette pratique est passée de 3 342 hectares en 1999 à 10 millions en 2005 !



Source : Zhu, Y. et al. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. Nature, 106 : 718-722.

Des terres mises à mal

Sans une prise en compte du fonctionnement et de l'évolution des écosystèmes agricoles, l'agriculture continuera d'être productrice de pollutions diverses (nitrates, pesticides, etc.). Cependant, les sociétés humaines dans leur ensemble, par leurs activités, leur développement urbain, impactent également les nappes phréatiques, les populations animales et sauvages utiles à l'agriculture.



LA RÉVÉRENCE DES ABEILLES

LA VARIÉTÉ DES INSECTES POLLINISATEURS EST GARANTE DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES

*La richesse en abeilles, domestiques et sauvages, est un atout pour la santé des écosystèmes et pour leurs productions.
Leur déclin affecte le rendement et la qualité des récoltes agricoles.*

Le déclin des abeilles est aujourd'hui reconnu et étudié par de nombreux chercheurs. Celui de l'abeille domestique est attribué à des causes multiples : présence de parasites et de pathogènes, existence de stress environnementaux, pratiques apicoles et agricoles. Celui des abeilles sauvages s'accompagne d'une diminution des populations des fleurs qu'elles pollinisent, comme cela a été montré en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas.

L'intensification agricole et la perte des habitats semi-naturels ont eu, et continuent d'avoir, des effets dommageables sur l'ensemble des insectes pollinisateurs dans de nombreuses régions du monde. Or, plus des trois quarts des espèces cultivées nécessitent le transport du pollen d'une fleur à une autre par les insectes. La dépendance est même totale pour certaines



© S. Durand



© S. Durand



cultures comme le cacao. Pour ce qui concerne les seules abeilles, les cultures qui en dépendent représentent 35 % de la production mondiale de nourriture. En 2005, on estimait la valeur de l'activité pollinisatrice des insectes (et principalement des abeilles) à 153 milliards d'euros pour les principales plantes cultivées à destination de l'alimentation humaine.

La disparition de ces précieux insectes n'est pas simplement un problème de chiffres, car leur variété influence aussi la qualité des productions agricoles. Par exemple, le rendement et la qualité des grains de café sont directement dépendants de la diversité des abeilles. D'autre part, il a été montré que cette diversité détermine celle des plantes à fleurs et de leurs productions de fruits et de graines.

UN RÉSEAU DE NETTOYAGE ET DE RECYCLAGE À SIX PATTES

70% DE LA BIODIVERSITÉ CONNUE DU RÈGNE ANIMAL EST CONSTITUÉ D'INSECTES

Les insectes contribuent à des fonctions écologiques vitales : le recyclage de la matière organique, la pollinisation, le contrôle des ravageurs des cultures, et la survie de nombreuses espèces de vertébrés dont ils constituent la ressource alimentaire.

Qu'en détruit, les écrase et les chasse.... mais que ferait-on sans eux ? Les insectes rendent d'immenses services aux humains. Et lorsque des estimations monétaires sont avancées, leurs « sociétés multinationales » en feraient pâlir plus d'un. Que l'on en juge par ces chiffres publiés pour les États-Unis en 2006 et 2008. Les services rendus pour nettoyage et recyclage des déjections animales équivalent à 380 millions de dollars par an (\$/an). Sans leur capacité à « transformer » cette matière, les terres émergées ne seraient qu'un vaste champ de bouses, crottes et autres déjections. Leurs services de régulateurs des populations de ravageurs des champs cultivés sont estimés à 4,49 milliards \$/an. Enfin, s'y ajoutent des services vitaux comme la pollinisation des cultures (3,07 milliards \$/an) et leur rôle essentiel comme nourriture du gibier (oiseaux, mammifères) et des poissons de pêche sportive (49,96 milliards \$/an), soit au total une valeur marchande de 57,9 milliards \$/an pour les seuls États-Unis. Soit à quelques milliards près, la valeur du réseau social Facebook en 2011 multipliée par trois !

Voici comment ont été calculés les services écologiques remplis par les bousiers, estimés à 380 millions \$/an aux États-Unis. Les auteurs ont évalué à 74 millions le nombre de bovins élevés en plein air. Chaque animal produisant 12 bouses par jour, cela représente neuf tonnes de déjections à éliminer par animal et par an, soit 21 m³ en volume cumulé...





© Ben 23

La disparition plus rapide des bouses permet un gain de surface utile de pâturage et permet d'augmenter la production de viande, ce qui représente un bénéfice de 122 millions \$/an. L'économie réalisée par les éleveurs en engrais azotés est de 58 millions \$/an, celui en traitements vétérinaires (l'élimination des bouses réduit la charge parasitaire) est de 70 millions \$/an. Enfin, les bousiers permettent de diminuer les nuisances liées aux mouches et donc d'augmenter la production animale : 130 millions \$/an.



© R. Brix

Sources : Nichols E. et al. 2008.- *Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles*. *Biological Conservation*, 141 : 1461-1474.

Losey J.E. & Vaughan M. 2006. *The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects*. *BioScience*, 56 (4) : 311-323.



© L. Viatour

CE QUE COÛTE LA DISPARITION DES VAUTOURS

UN SERVICE DE NETTOYAGE GRATUIT EN VOIE DE DISPARITION

La perte de la biodiversité diminue le nombre de porteurs probables de vecteurs de maladies humaines. La conséquence est une augmentation des risques de maladies émergentes et un coût important pour les sociétés humaines.

Au sud de la grande chaîne de l'Himalaya, du Pakistan au Bangladesh, quatre espèces de grands vautours, *Gyps bengalensis*, *G. indicus*, *G. himalayensis* et *G. fulvus* voient leurs populations décliner dangereusement. Ces espèces sont en effet empoisonnées par un produit chimique, le diclofénac, largement utilisé comme médicament anti-inflammatoire pour le bétail. Dans ces pays, les cadavres des animaux domestiques sont laissés sur place et normalement « nettoyés » par les grands vautours, dont le régime alimentaire est nécrophage.

La baisse des effectifs de vautours se répercute sur l'efficacité et la rapidité de nettoyage des carcasses. Moins de vautours équivaut à plus de carcasses laissées à l'abandon. Cette situation profite à d'autres animaux, porteurs de maladies, tels que les chiens errants. Le chercheur Anil Markandya et ses collègues ont calculé qu'entre les années 1993 et 2006, les conséquences de la disparition des grands vautours sur la santé humaine a coûté quelque 34 milliards de dollars américains. Se sont ajoutés à ces coûts les dommages culturels causés aux Pârsis, une communauté indienne qui confie aux vautours le soin de faire disparaître leurs morts. Ces coûts additionnels ont été estimés à 1,6 millions de dollars américains.



Source : Markandya, A. et al. 2008. *Counting the cost of vulture decline – An appraisal of the human health and other benefits of vultures in India*. Ecological Economics, 67: 194-204.



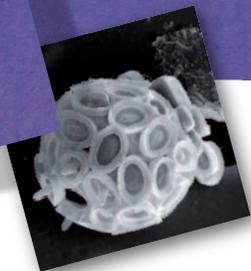
© N. Magrou

Les Pârsis sont, comme leur nom l'indique, originaires de Perse (actuellement l'Iran). Chassés par les arabes musulmans au 18^e siècle, certains émigrèrent vers l'Inde pour ne pas renier leur religion. Et puisqu'aucun tabou ne les empêchait de fréquenter les anglais, ils participèrent au développement économique de la région de Bombay. Ils y ont occupé des fonctions importantes au sein des administrations et ont été à l'origine d'une classe moyenne, plutôt aisée.

Les Pârsis sont adeptes d'une religion, le zoroastrisme, qui voit dans l'eau, la terre et le feu des éléments sacrés. Pour éviter toute souillure, leurs défunts sont exposés dans des « tours du silence » où ils sont déchiquetés par les oiseaux charognards. Au début des années 2000, les populations de vautours ont été victimes d'un déclin rapide suite à une intoxication par un anti-inflammatoire (le diclofénac). Désarmés, les membres de cette minorité religieuse ont dû mettre en place des stratagèmes pour provoquer la décomposition rapide de leurs défunts : disposer des miroirs solaires, conduire des élevages de vautours en captivité...

Des filets en mer

Depuis les temps les plus reculés, les océans, les lacs et les cours d'eau ont été une source importante d'aliments, la pêche assurant une planète, les ressources économiques à l'humanité. Recouvrant 70 % de témoignent les techniques actuelles qui permettent de prélever des bancs entiers de poissons - à titre de comparaison, il n'existe aucune machine terrestre permettant de capturer un troupeau entier d'animaux pour le transformer sur place. L'humanité commence donc à comprendre que les ressources aquatiques, certes renouvelables, ne sont pas infinies et doivent être gérées selon des critères scientifiques si l'on veut maintenir leur contribution au bien-être nutritionnel, économique et social de la population croissante de la planète.



UNE PÊCHERIE RÉSILIENTE

LA VARIABILITÉ DES POPULATIONS DE SAUMONS ASSURE L'ÉCONOMIE DE LA PÊCHE

Une forte hétérogénéité spatio-temporelle entretient la diversité des populations de saumons et de leurs cycles vitaux. Cette diversité permet de réguler le stock de poissons au cours des années et bénéficie à la pêche pratiquée durablement en Alaska.

La diversification des populations de saumons du Pacifique augmente la résilience de l'ensemble du stock de la baie de Bristol en Alaska, au grand bénéfice des pêcheries installées dans cette baie, qui représente plus de 60 % des revenus de la pêche au saumon des États-Unis.

Les saumons sont pêchés quand ils se présentent aux estuaires des neuf principaux cours d'eau de la baie. Or, en chacun de ces estuaires, remontent des dizaines, voire des centaines de populations distinctes, très précisément adaptées aux conditions de vie des ruisseaux et des lacs qui conduisent à leurs frayères



© M. Gasteel

natales. En exploitant cette diversité de populations, les pêcheurs sont moins exposés à la variabilité liée aux retours annuels d'une seule population. Ils y sont d'autant moins exposés que les dynamiques de ces populations ne sont pas synchrones : les saumons peuvent passer une ou deux années en eau douce avant de se développer dans l'océan, et séjourner dans ce dernier un à trois ans avant de remonter vers leurs frayères. Ainsi, la probabilité que tous les individus d'une même cohorte rencontrent des conditions défavorables au cours de leur cycle vital s'en trouve nettement réduite.

Les gestionnaires du stock des saumons de la baie tablent sur un retour annuel de 10 millions d'individus sur l'ensemble des frayères pour en assurer son renouvellement. Ne doivent donc être capturés que les individus en surplus de ces 10 millions. Les pêcheries sont fermées les années où ces 10 millions risquent de ne pas être atteints. Avec la diversification des populations de la baie, la probabilité de fermeture des pêcheries n'est que de deux à trois années par siècle. Des chercheurs ont calculé qu'elle serait dix fois plus élevée si la population était unique. En somme, la diversification des populations de saumons peut être comparée à celle d'un portefeuille boursier dans lequel on varie les types de placements dans un souci de gestion du risque.

Au-delà des pêcheries, les saumons alimentent aussi un ensemble de processus écologiques : ils remontent des nutriments de l'aval vers l'amont des bassins versants et servent de proies, notamment aux ours.



Source : Schindler et al. 2010. *Population diversity and the portfolio effect in an exploited species*. *Nature*, 465 : 609-612.



DES PÊCHES CIBLÉES

COMMENT RÉCONCILIER EXPLOITATION ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ MARINE

L'enjeu de la pêche durable est à la fois de prendre en compte les choix de pêche des humains et de les modifier pour les rendre compatibles avec la pérennité des espèces de poissons. Economistes, pêcheurs et chercheurs développent des méthodes de meilleure gestion afin de maintenir les stocks de poissons sauvages.



© Ifremer- C. Dugornay



© Ifremer-F. Blanchard

Sardines, thons rouges, tortues, oiseaux et mammifères marins..., leur devenir au cours du 21^e siècle va dépendre de la mise en application d'une vision des temps modernes : celle de l'approche écosystémique des pêches. Une pêche durable et respectueuse des écosystèmes marins. Cette approche n'est pas le fait de quelques écologistes en mal de reconnaissance. Mais celle d'une volonté internationale sous l'égide des Nations Unies qui s'est concrétisée avec la déclaration de Johannesburg en 2002 lors du sommet mondial sur le développement durable. Quels en sont les principes ? Le premier, en utilisant des engins sélectifs, est de veiller à limiter les prises accidentelles d'espèces non ciblées dans les filets, comme les tortues marines, les requins et les mammifères marins, rejetées mortes dans les océans. Des engins, qui permettent aux animaux de s'échapper ou qui, à l'aide de trappes, minimisent les prises accessoires.

Le second principe est de limiter la pêche pour s'assurer que les poissons prédateurs, comme les mérous, les merlus et les morues, ou encore les oiseaux et mammifères marins puissent se nourrir de poissons fourrages tels que les anchois, les sardines ou les harengs. Cela nécessite de s'assurer d'une abondance minimale de ces poissons fourrages dans les écosystèmes mais aussi de leur disponibilité envers les prédateurs. De plus, il faut que les ressources en poissons soient suffisantes autour des colonies d'oiseaux en danger d'extinction en développant des réserves marines autour des lieux de nidification et en diminuant les prélèvements de pêche.

Ces deux principes sont le reflet de multiples idées pragmatiques dont les objectifs sont d'assurer un devenir aux ressources, à la biodiversité et aux pêcheurs. Mais si le monde de la pêche commence à être sensibilisé à cette approche écosystémique,

il reste encore un long chemin à parcourir... Pourtant ce n'est qu'en la mettant en œuvre, et à ce prix seulement, que nous pourrions assurer un bon état de santé et une exploitation durable des océans.



Source : P. M. Cury et al. 2011. *Global Seabird Response to Forage Fish Depletion—One-Third for the Birds*. *Science*, 334 : 1703-1706.

Là vivaient en famille plusieurs groupes de lamantins...J'appris à Ned Land et à Conseil que la prévoyante nature avait assigné à ces mammifères un rôle important. Ce sont eux, en effet, qui comme les phoques doivent paître les prairies sous-marines et détruire ainsi les agglomérations d'herbes qui obstruent l'embouchure des fleuves tropicaux.

« Et savez-vous, ajoutai-je, ce qui s'est produit, depuis que les hommes ont presque entièrement anéanti ces races inutiles ? C'est que les herbes putréfiées ont empoisonné l'air, et l'air empoisonné, c'est la fièvre jaune qui désole ces admirables contrées... »

Et s'il faut en croire Toussenel, ce fléau n'est rien encore auprès de celui qui frappera nos descendants, lorsque les mers seront dépeuplées de baleines et de phoques. Alors encombrées de poulpes, de méduses, de calmars, elles deviendront de vastes foyers d'infection, puisque leurs flots ne posséderont plus
« ces vastes estomacs, que Dieu avait chargés d'écumer la surface des mers. »

Jules Verne, extrait de *Vingt mille lieues sous les mers*, 1871.

DES FERMES AQUATIQUES

UTILISER LES CHAÎNES ALIMENTAIRES POUR RÉDUIRE LES IMPACTS DE L'AQUACULTURE

L'aquaculture intégrée est une sorte de technologie qui s'inspire du fonctionnement des écosystèmes. Elle se base sur la connaissance des flux de nutriments dans les chaînes alimentaires. Ce principe de « copier » la nature peut être généralisé à d'autres services de prélèvement.



© Ifremer - J. Hussernot



© Ifremer - J. Hussernot

Manger du poisson, c'est bon pour la santé. Mais manger du poisson peut également contribuer à l'effondrement mondial des stocks de poissons sauvages et à la dégradation de l'environnement. En effet, un poisson d'élevage est généralement alimenté à partir d'huiles et de farines issues des pêcheries sauvages. Par ailleurs, si les techniques aquacoles ne sont pas maîtrisées ou inappropriées, elles contribuent à l'enrichissement en matière organique des eaux et des sédiments environnants. Mais face à la demande croissante en produits de la mer et à l'augmentation de la population mondiale, quelles peuvent être les solutions pour maintenir une pêcherie durable ? L'une d'elles pourraient bien être l'IMTA pour "integrated multitrophic aquaculture". Éprouvée par quelques précurseurs, cette méthode d'aquaculture est en voie de développement croissant.

Le principe est simple : copier la nature. Et en particulier la connaissance des flux de nutriments dans les chaînes alimentaires. Dans l'aquaculture intégrée, on élève différentes espèces complémentaires de façon simultanée pour optimiser les productions et réduire les impacts négatifs sur l'environnement : des coquillages, des algues avec des poissons ou des coquillages, des crevettes, des algues avec des poissons.

Comment ça marche ? Les rejets azotés des poissons élevés fertilisent les algues : 35 à 100 % des excréments peuvent être ainsi « récupérées ». Ces algues peuvent être ensuite utilisées pour nourrir les poissons ou selon leurs propriétés, être commercialisées pour la cosmétique ou l'alimentation. Quant au reste des rejets azotés, ils sont naturellement recyclés dans la



production primaire du phytoplancton, qui est lui même, filtré par des mollusques réputés tels que les coquilles Saint Jacques, pétoncles, huîtres ou moules.

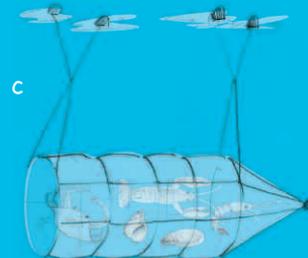
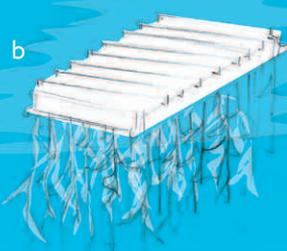
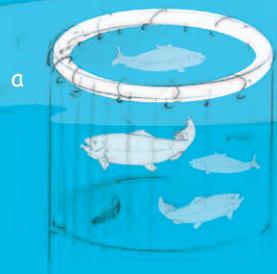
Sur la côte est du Canada, des expériences tentent d'introduire cette forme d'élevage en pleine mer. Saumons, kelp et moules sont ainsi associés dans la baie de Fundy. Les premiers résultats montrent que la croissance des algues géantes et des moules est moitié supérieure à celle des zones éloignées des fermes d'élevage. Mais ces fermes d'un genre nouveau ne doivent pas se créer au hasard : les courants, la température de l'eau, la profondeur et surtout le choix des espèces élevées qui doivent être complémentaires, sont cruciaux pour optimiser les productions et atteindre des objectifs environnementaux acceptables. Autant de facteurs qui sont étudiés pour tenter d'introduire ce type d'aquaculture en mer Méditerranée et dans les marais atlantiques semi fermés. Une démarche qui pourrait d'ailleurs « s'exporter » à terre, pour les élevages d'eau douce.



Pour en savoir plus sur les systèmes intégrés en aquaculture marine :

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00030/14171/11442.pdf>

Sources : Soto D., J. Aguilar-Manjarrez & N. Hishmunda (eds). Building an ecosystem approach to aquaculture. FAO fisheries and Aquaculture Proceedings N°14 Troell et al. 2009. *Ecological engineering in aquaculture – Potential for integrated-multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems*. Aquaculture, 297 : 1-9.



a- l'élevage de poissons

Les poissons commerciaux, comme le saumon, sont élevés en cage.

b- les algues

Les algues sont fertilisées par le reste des déchets dilués dans l'eau. Elles peuvent être récoltées pour nourrir les poissons.

c- les filtreurs

Oursins et homards peuvent manger la nourriture délaissée par les poissons. Les moules et autres mollusques filtrent les déchets des poissons évitant ainsi la pollution des eaux.

UN MONDE DE PERLES

DES INDICATRICES DE LA QUALITÉ DU MILIEU

Perles noires, d'or ou d'argent, montées en broches, colliers, et boucles pendantes, les perles véritables prennent leur origine au sein de la biodiversité aquatique. Moules ou huîtres perlières, ormeaux et strombes géants en sont les « fabricants ». Mais ces derniers nécessitent des eaux oxygénées d'une grande pureté. Ce qui font d'eux les meilleurs garants d'un environnement sain !

Objets de tentations et de noblesse, les perles - de par leur rareté - ont toujours été considérées comme des trésors depuis des siècles. Mais c'est avec la découverte des Amériques et de leurs huîtres perlières, que les conquistadors ont insufflé la mode des bijoux de nacre dans les cours d'Europe. Commence alors une course effrénée vers la découverte de la perle rare et de la plus précieuse. Louis XIV achète ainsi la perle dite de Hope considérée comme l'une des plus grosses au monde (1,5 cm de long). Cette course effrénée n'est pas sans dommages. Parce que seuls les mollusques atteints d'un accident de la vie, comme l'intrusion d'un parasite entre la paroi interne de la coquille et le corps de l'animal, enrobent petit à petit le corps étranger de nacre pour s'en protéger. A l'époque, la découverte d'une seule perle naturelle et sauvage nécessitait l'anéantissement de populations entières....

Si les premières tentatives de cultures d'huîtres perlières sont réalisées par le naturaliste suédois Karl von Linné (1707-1778), ce sont les japonais, et en particulier, Kokichi Mikimoto, qui réussissent au début du 20^e siècle à maîtriser la technique de la culture d'huîtres pour la production de perles commercialisables. Cette technique très délicate consiste à insérer manuellement un greffon dans le manteau d'une jeune huître perlière, dont l'espérance de vie diminue alors considérablement. La culture de perles s'est ensuite développée dans le monde entier. Aujourd'hui, les perles noires aux reflets verts, bleus ou roses, sont cultivées en Polynésie française et plus largement dans

© Ifremer - O. Dugonay



© Ifremer - O. Dugornay



© Ifremer - O. Dugornay



l'Océan Pacifique tropical. Les perles d'argent ou blanches proviennent d'Australie et les perles d'or des Philippines et de Malaisie. En eaux douces, la moule *Margaritifera margaritifera* en Europe, *Lampsilis higginsii* aux États-Unis et *Hyriopsis cumingii* en Chine sont les espèces les plus connues pour leur production perlière. Mais toutes pâtissent de la pollution des eaux. 75 % des moules perlières d'eau douce sont actuellement menacées d'extinction.... *M. margaritifera*, dont l'impératrice Joséphine tenta vainement l'acclimatation à Rueil-Malmaison, nécessite des eaux vives fréquentées par de jeunes truites et saumons. Les larves de la moule doivent en effet, avant de se fixer dans le sable, vivre en parasite sur les branchies de ces poissons. Aux États-Unis, la moule zébrée, espèce invasive introduite, menace les populations des moules perlières d'eau douce qui fournissent le précieux greffon pour de nombreux élevages d'huîtres perlières.

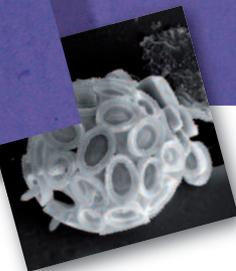
En milieu marin, les perliculteurs doivent faire face à la destruction des récifs coralliens par les êtres humains. Ce qui font d'eux d'ardents protecteurs des récifs. La clarté de l'eau et la qualité du plancton dans les lagons sont en effet vitales pour leurs élevages. En Polynésie, elle constitue le second secteur d'activité après le tourisme et permet de générer près de 5 000 emplois dans les atolls.



Source : The pearl oyster - Par Paul C. Southgate, John Lucas Elsevier (ouvrage collectif).

Des poissons dans le rouge

Depuis près de 30 ans, avec des techniques de pêche toujours plus sophistiquées ainsi que l'aggravation de la pollution marine, les stocks halieutiques s'amenuisent de façon inquiétante. Cela porte conséquence sur l'économie de la pêche et compromet le bien-être social dans beaucoup de pays du monde, en particulier ceux pour lesquels le poisson constitue la principale source de protéines animales et de revenus, ainsi que pour les pêcheurs de subsistance des pays en développement.



ALERTE AUX SUSHIS

LES CONSOMMATEURS DE POISSONS AGISSENT INDIRECTEMENT SUR LA RESSOURCE

Les espèces de poissons à durée de vie longue, comme le thon rouge, nécessitent une pêche laissant les populations se reconstituer même si la demande humaine est très forte.



© M. Takeuchi

Le thon rouge est la plus grande des espèces connues de thons. Avant les années 1970, des femelles de plus d'une tonne pouvaient encore être capturées, alors qu'aujourd'hui elles ne dépassent pas les 600 kg. Dans les années 1990, le prix du thon rouge au débarquement avoisinait trois euros par kilogramme et l'espèce n'apparaissait pas particulièrement menacée. Depuis ces années, la situation a bien changé. L'engouement pour les sushis et autres sashimis en dehors de la stricte communauté japonaise a explosé, déclenchant une spectaculaire augmentation des prix payés au débarquement : plus de 150 €/kg !

La mer Méditerranée, et à un moindre niveau l'est atlantique, sont les « grandes pourvoyeuses » de thons rouges de haute qualité qui intéressent les marchés. En dix ans, des flottes de senneurs océaniques opérées par différents pays se sont lancées dans cette pêche, entraînant avec eux des sur-débarquements rapides. Mais si depuis le début des années 2 000, des quotas de captures ont été fixés, la situation n'a cessé d'empirer puisque

© Ifremer-M. Taquet



© wikipedia



Les espèces à éviter dans son assiette

le thon rouge,
 le thon obèse,
 l'anguille,
 le flétan
 le grenadier
 l'empereur
 certains requins
 l'espadon
 le cabillaud / morue

les quotas officiels correspondent à des tonnages trop importants et surtout ne sont pas respectés. A l'heure actuelle, le stock de thon rouge a été ramené à moins de 20 % de ce qu'il était en 1990. Alors que faire ?

L'ICCAT (*International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas*) est chargée de récolter les données, de les synthétiser et de proposer des mesures de limitation d'accès à la ressource. Mais elle a beaucoup de mal à gérer la situation ; les déclarations de captures étant systématiquement - comme pour les baleines ! - effectuées à la baisse. Il est aussi extrêmement difficile de contrôler les quotas atteints et l'estimation des fluctuations des stocks est compliquée. Pêcheurs, administrations, scientifiques et écologistes s'affrontent dans un contexte très préoccupant pour la ressource. La valeur atteinte des animaux débarqués n'arrange pas la situation !

Nous sommes dans le cas emblématique des contraintes de l'offre et de la demande sur les marchés : la ressource se fait de plus en plus rare, les prix continuent à grimper et la « vieille croyance » de l'extinction économique précédant celle de l'extinction biologique ne tient plus ; un thon rouge a été vendu en janvier 2012... à 560 000 € !

L'Europe a pris des mesures drastiques en 2010 et 2011, en arrêtant la campagne de pêche en Méditerranée quelques semaines après son démarrage. Ceci a permis l'apparition de frémissements de reprise, avec de plus en plus de juvéniles observés dans le Golfe du Lion, aux Baléares et à Malte, alors qu'ils avaient pratiquement disparu depuis 2006. Les pêcheries se sont déportées d'ouest en est (côtes de la Libye). Mais il est clair que le sauvetage de la ressource par une pêche intelligente et durable passera d'abord par le respect de l'application des mesures déjà prises.



Source : Schindler et al. 2010. *Population diversity and the portfolio effect in an exploited species*. *Nature*, 465 : 609-612.

CHRONIQUE D'UNE MORT ANNONCÉE

RIEN NE SEMBLE POUVOIR ARRÊTER LA DISPARITION
DES OURSINS DU CHILI

*Faute de décisions collectives
entre pêcheurs et acteurs publics,
les ressources marines sont
exploitées jusqu'à l'épuisement des
stocks et la disparition des espèces.*

Bien que nous en sachions l'issue, rien ou presque ne détourne notre obstination à nous diriger vers un objectif mortifère. Pourquoi un tel aveuglement ?

Dès les premières pages du roman « Chronique d'une mort annoncée¹ », le lecteur sait que le meurtre de Santiago Nasar va avoir lieu. Le chemin en est inéluctablement tracé et pourtant personne n'intervient. L'oursin *Loxechinus albus* qui vit le long des côtes chiliennes se trouve dans une situation analogue à celle du malheureux héros du roman.

Du nord au sud, sur plus de 4 000 km, les côtes chiliennes sont subdivisées en une douzaine de régions administratives (zones I à XII). Dans les régions les plus méridionales de cet immense littoral, les pêcheries d'oursins sont florissantes et le Chili est le premier producteur d'oursins au monde (aux alentours de 60 000 tonnes / an). Depuis le milieu des années 1990, le total des débarquements ne décroît pas. Tout irait donc bien et un équilibre serait atteint ? Non, car la pression de pêche a amené un déclin des populations d'oursins de la zone X. Ce qui a fait glisser les pêcheries vers le sud jusqu'à la zone XII, la plus méridionale. Cependant, les oursins pêchés dans les zones nouvellement ouvertes (XI et XII) sont débarqués dans les anciennes zones situées au nord, masquant le déclin global de la ressource. Comme dans le roman, tout le monde est au courant, les signes



© R.V. Ojeda - IRD

¹- Gabriel García Márquez (1981), prix Nobel de littérature.

d'un désastre écologique et économique annoncé sont bien visibles, mais personne n'agit, attendant des signes encore plus tangibles tout comme les policiers du roman refusent d'arrêter les futurs meurtriers en dépit du fait qu'ils clament leur intention de passer à l'acte. Bien au contraire, les tailles légales des oursins sont revues à la baisse pour maintenir l'activité de pêche, fournissant ainsi de nouvelles armes contre la ressource ; de manière similaire les futurs meurtriers du roman se procurent d'autres couteaux qu'ils vont faire aiguiser. Les scientifiques prédisent un effondrement des pêches dans les zones X et XI, puis dans la zone XII : Santiago Nasar finira tué puisque rien ne se passe pour modifier le cours des choses. Pour les oursins, il n'est pas (encore) trop tard, mais qui peut enrayer la tragédie annoncée ? Les autorités politiques ou administratives. Mais elles n'ont aucun intérêt à le faire, la restriction des pêches conduisant, comme l'épuisement des ressources, à la mise au chômage des pêcheurs ; autant faire porter le chapeau à d'autres ! Les pêcheurs et industriels du secteur ne le feront pas d'eux-mêmes. Les scientifiques détiennent une clef du problème, sous réserve qu'ils puissent élaborer des modèles fiables indiquant où, quand et quoi pêcher ; mais la réalisation de tels modèles dans le cadre très complexe des fjords et îles du sud Chili prendra beaucoup trop de temps. Plus hypocritement, il est assez facile pour les autorités, et somme toute peu coûteux, d'accorder des crédits supplémentaires à la recherche pour disposer de données plus robustes, tout en proposant de surseoir à l'application de mesures restrictives. Tout le monde en tire un bénéfice immédiat et personne n'est l'unique coupable. Tout le monde est satisfait, sauf les oursins !



Source : W.B. Stotz. 2010. The history of the Chilean urchin fishery: Chronicle of an announced death ? In Echinoderms Durham (L.G. Harris et al. eds): 561-570. Taylor & Francis group, London.



DES SANGSUES BIEN UTILES D'UN SERVICE GRATUIT À UN SERVICE PAYANT

Les sangsues sont des vers segmentés des bassins d'eau froide. Elles sécrètent une salive contenant des molécules empêchant la coagulation du sang. Prélevées sans compter dans les marais, désormais asséchés, elles ont disparu des campagnes.

L'utilisation des sangsues à des fins médicales est très ancienne, mais au début du 19^e siècle, sous l'influence des théories de Broussais, l'emploi de la sangsue médicinale (*Hirudo medicinalis* ou *Hirudo officinalis*) est à son apogée. Elle est en effet utilisée pour la décongestion sanguine.

Une véritable industrie de la pêche à la sangsue se met alors en place dans les campagnes. En 1819, le dictionnaire des sciences médicales précise ainsi que la consommation s'élève à plusieurs centaines de mille. La France exporte d'ailleurs des sangsues vers l'Angleterre, pays où elles sont rares et chères.

Pour les attraper, le pêcheur rentre dans l'eau. Pieds nus, pantalon retroussé et, à l'aide d'un bâton, il frappe la surface de l'eau pour faire remonter les animaux. Puis en passant la main sous l'eau, il les capture et les dépose dans un petit sac. Elles sont ensuite mises dans un bocal rempli d'eau avant d'être vendues au pharmacien le plus proche. A l'époque, il était alors courant de voir dans les officines un grand bocal de sangsues vivantes. Si le pêcheur disposait de moyens plus performants, il se servait d'appâts : il déposait alors des morceaux de cadavres d'animaux, par exemple, et allait le lendemain recueillir les sangsues qui s'y étaient fixées. Mais ce moyen, précisait le dictionnaire des sciences médicales, ne donnait que de mauvaises sangsues car elles étaient déjà gorgées de sang. En Camargue, dans les marais de Vigueirat et de La Palissade, de nombreuses familles vivaient de cette activité. Dans l'Hérault, l'étang de Capestang fournissait





© Lalupa



© wikipedia

Bossche, Guillaume van den, Bruxellas, Typis Joannis Mommarti, 1639 *Historia medica, in qua libris IV. animalium natura, et eorum medica utilitas exacte & luculenter.*

15 000 sangsues par jour. Les marais du Poitou firent aussi merveille dans cet élevage. Enfin en Gironde, une véritable industrie des sangsues s'est mise en place dans le marais de Blanquefort. De 1827 à 1850, leur utilisation passe de 33 à 100 millions d'unités par an ! En ce milieu de siècle, la demande est telle que les importations sont nécessaires : en 1852, la France importe 57 millions de sangsues vivantes. Ces chiffres illustrent une utilisation que certains qualifient d'abusive. En 1827, un médecin est ainsi accusé d'avoir mis 1 800 sangsues sur le corps de son malade ! Sangsues qui provoquèrent une hémorragie mortelle du patient. Le dictionnaire des sciences médicales rapporte aussi "qu'on a appliqué à une malade 250 sangsues en 24 heures à plusieurs reprises sur l'abdomen pour une péritonite à laquelle elle succomba pourtant". Nul doute que ces excès furent à l'origine du déclin de cette thérapie après 1850.

A l'heure actuelle, les sangsues ont disparu de nombreuses régions et sont protégées par la loi ; leur ramassage est strictement interdit. Pourtant, leur utilisation en médecine générale et chirurgicale ainsi qu'en médecine vétérinaire est reconnue. En France, un seul laboratoire privé vit de la vente des sangsues.

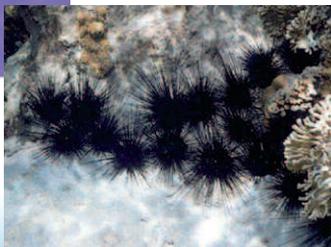


© Glebk

L'ALGUE ET L'OURSIN DE JAMAÏQUE

QUAND LA PERTE DE LA BIODIVERSITÉ MÈNE À UN SYSTÈME APPAUVRI ET FRAGILE

C'est l'histoire d'un très beau récif corallien des Caraïbes, celui de la Jamaïque. C'est l'histoire d'une perte progressive de la biodiversité corallienne et d'une perte tragique d'approvisionnement en poissons pour les populations locales ainsi qu'une perte nette en revenus touristiques.



© wikipedia

Durant des centaines d'années, poissons perroquets et poissons chirurgiens, traditionnels herbivores d'algues calcaires encroûtantes, ont évolué en nombre dans les eaux claires et riches de coraux en tout genre. A tel point que la pêche était facile et que personne n'osait imaginer qu'une telle profusion puisse un jour s'effondrer.

Pourtant en 1983, tout bascule. Les poissons désormais en faible nombre ne compensent plus la croissance des algues, qui se multiplient à la surface du récif et étouffent les polypes coralliens. Des polypes, qui subissent déjà de plein fouet les conséquences de la déforestation et la dégradation des terres environnantes. Relativement fermée, entourée d'îles et de terres tropicales, la mer des Caraïbes devient en effet le déversoir des eaux de pluie, souvent diluviennes, charriant avec elles, boues et terres, incapables d'être retenues par l'ancienne végétation luxuriante. Plus étonnant, la transparence des eaux diminue avec des poussières venues d'Afrique par les airs. Or les espèces de corail apprécient la clarté : les algues symbiotiques du corail, les zooxanthelles, ont besoin des rayons du soleil pour réaliser la photosynthèse et fabriquer des sucres énergétiques. Avec une eau trouble, la survie devient chaque jour plus délicate. Sans compter que les



eaux se réchauffent périodiquement, ce que beaucoup de zooxanthelles ne supportent pas et « désertent » leurs hôtes protecteurs. Ces épisodes, où le corail blanchit et meurt, faute de zooxanthelles, affaiblissent le récif.

Pendant longtemps, une espèce, a cependant, tiré son épingle du jeu. C'est un oursin, le *Diadema antillarum*. Celui-ci se nourrit des algues envahissantes en se substituant au rôle clé des poissons herbivores. Profitant de la nourriture abondante, ces populations se sont multipliées au niveau du récif jamaïcain jusqu'à la date fatidique de 1983 où l'oursin est décimé par un parasite. Désormais, plus aucune espèce ne pourra prendre le relais pour enrayer la croissance des algues.

Dans le monde de la plongée sous-marine, les plateaux et récifs de la Jamaïque n'offrent plus le même attrait que d'autres destinations tropicales et les touristes commencent également à désertir les plages. 20 % des bénéfices du tourisme ont ainsi été perdus dans les Caraïbes. Un manque à gagner deux fois supérieur aux pertes engendrées par la pêche sinistrée...

MORALE DE L'HISTOIRE : La diversité est une assurance-vie face à la maladie. La diversité attire les touristes et permet une pêche durable.

POUR LES ÉCONOMISTES : le tourisme dans les récifs coralliens des Caraïbes rapporte 1 210,5 € par hectare et par an. Les efforts de protection des coraux représentent un effort gagnant pour les activités touristiques... Sous réserve qu'elles soient également développées de façon durable !

POST SCRIPTUM : dans certaines régions des caraïbes, les populations d'oursins semblent revitalisées depuis les années 2000, laissant espérer un rétablissement et une convalescence des polypes coralliens mais seront-ils assez résistants face aux changements climatiques ?

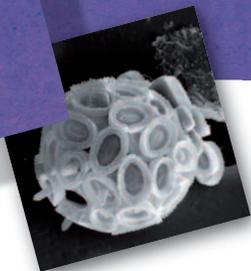


Source : UNEP, 2008. Environment Alert Bulletin: coastal degradation leaves the Caribbean in troubled waters. (http://www.grid.unep.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=400&lang=en&project_id=2A505705)



Des forêts

La forêt tropicale, la forêt sèche, la forêt méditerranéenne... Toutes, où qu'elles se trouvent sur la surface terrestre sont des lieux multiples d'habitats pour les êtres vivants, qu'ils soient humains ou non. Du point de vue de l'espèce humaine, la forêt française produit de nombreux biens et services, dont une évaluation, forcément arbitraire, partielle et incomplète, s'élève à 970 euros par hectare et par an environ. Concernant leur rôle de « ressources », les forêts métropolitaines comprennent 136 espèces différentes d'arbres dont 30 sont couramment utilisées en bois de chauffe, bois de menuiserie, etc. En Guyane, 88 essences sont exploitées mais il y en a bien plus. Les forêts recèlent également une myriade d'autres biens utilisés par les humains : gibier, plantes sauvages aux propriétés pharmaceutiques, fruits, résines, fibres diverses et graisses.



LES GEAIS, FORESTIERS EN CHEF

LE RENOUVELLEMENT DES FORÊTS EST GRATUITEMENT ASSURÉ PAR LE VENT OU LES ANIMAUX

Le service de la dispersion des graines par les oiseaux a été évalué de façon monétaire. L'étude révèle que la forêt y « gagne » en nombre d'arbres plantés et que les êtres humains réalisent de substantielles économies.

Certains oiseaux sont les jardiniers des forêts. Acteurs dans la dispersion des plantes, ils assurent un service fondamental dans le maintien et la colonisation des massifs forestiers. Leurs services sont, cependant, à peu près impossibles à chiffrer. Sauf, dans les cas où il existe des associations étroites, de type mutualiste ou symbiotique, entre un ou plusieurs partenaires végétaux et animaux. Un exemple est celui des relations entre les chênes et les geais dans le parc national urbain de Stockholm qui est l'une des plus vastes forêts de chênes de Suède.

© wikipedia



© B. Stansberry



Les chênes rouvres (*Quercus robur*) qui composent cette forêt sont des espèces-clés d'une grande valeur biologique et culturelle car ils constituent l'habitat exclusif de communautés complexes d'insectes, de lichens, de mousses, de champignons, d'oiseaux et de chauves-souris. Un grand nombre des chênes qui peuplent ce parc sont vieux de plus de 500 ans. Dans cette forêt, le chercheur Hougner et ses collègues ont montré que les geais, *Garrulus glandarius*, grands amateurs de glands, ont « planté » près de 85 % des chênes.

Les chercheurs sont allés plus loin. Pour estimer le rôle économique des oiseaux, ils ont fait comme si l'espèce avait disparu. Sans geais, comment les êtres humains s'y prendraient-ils pour maintenir la forêt ? Ils feraient des plantations manuelles de glands ou de jeunes plantules. Et combien cela coûterait-il à la société ? En se basant sur la connaissance des taux de germination des glands et sur les probabilités de survie des plantules, les chercheurs ont estimé qu'en plantant manuellement les glands, la société payerait environ 3 000 euros pour remplacer un seul couple de geais. La somme monterait à plus de 16 500 euros si l'on pratiquait le repeuplement à l'aide de jeunes plantules de chêne.

La fonction de dispersion réalisée par ces oiseaux est donc en moyenne estimée entre 1 500 et 7 000 euros par hectare de forêt. Il y a déjà bien longtemps le biologiste tchèque Frantisek Turček avait calculé que les geais plantent chaque année en moyenne 50 000 glands à l'hectare, mais il n'avait pas transformé ses résultats en équivalent monnaie !



Source : Hougner, C., Colding, J. & Soderqvist, T., 2006. *Economic valuation of a seed dispersal service in the Stockholm National Urban Park, Sweden*. *Ecological Economics* 59 : 364-374.



LÀ-HAUT DANS LA MONTAGNE

HISTOIRE DES PAYSAGES D'UNE VALLÉE DES PYRÉNÉES

Par méconnaissance, les êtres humains peuvent agir sur les paysages de manière négative mais avec de la volonté, le processus peut s'inverser.

© L. Garnier



© L. Garnier



Voici un cas exemplaire des vallées de l'est des Pyrénées. Celui de la vallée de Vicdessos. Durant plusieurs siècles, cette vallée a abrité une importante mine de fer qui alimentait les sites sidérurgiques régionaux. A la fin du 13^e siècle, un seuil technologique majeur est cependant franchi : celui de l'invention de la métallurgie. Avec le besoin en charbon grandissant, l'innovation entraîne un impact immédiat sur la ressource en bois.

Au cours du 18^e siècle, la raréfaction du bois occasionne le déclin de la métallurgie et la fin du charbonnage, entraînant lui-même une perte de revenus non négligeable pour une grande partie des habitants. Ceux-ci se tournent alors vers une autre activité spéculative : l'élevage, grand dévoreur d'espaces. Au milieu du 19^e siècle, les territoires de la vallée se présentent alors avec d'immenses surfaces pastorales et des reliquats de forêts dégradées. Sapinières et hêtraies ont toutes disparu. Mais à partir de 1861, le vent tourne. La politique de restauration des terrains en montagne conduit à un spectaculaire retour de tendance. Tandis que sont créés des boisements artificiels de résineux, des boisements spontanés avec frênes, bouleaux, noisetiers et chênes apparaissent. Aujourd'hui, l'espace forestier du Vicdessos se présente comme une riche mosaïque d'écosystèmes.

DES BOIS AUX TURBINES

QUAND LES FORÊTS AGISSENT SUR LE PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ

Outre son rôle dans la protection des sols et la filtration des eaux, la forêt a un rôle dans la régulation du débit des eaux fluviales et des rivières.

Les barrages hydroélectriques sur les rivières ont besoin de débits réguliers pour fonctionner de manière optimale : en cas de crues, ils doivent relâcher le surplus d'eau sans le turbiner ; en cas d'étiages sévères, ils doivent assurer un débit minimum des rivières plutôt que de stocker l'eau pour produire de l'électricité à un moment plus favorable.

Dans cette optique, des chercheurs chinois ont cherché à comparer l'intérêt de diverses utilisations des sols sur le bassin versant et à évaluer le rôle économique d'une couverture végétale permanente (forêts ou prairies) par rapport à des cultures. En effet, un couvert permanent permet à la fois d'étaler les crues hivernales et de restituer plus lentement l'eau des pluies aux rivières, fournissant ainsi des débits plus importants pendant l'été. Pour un barrage sur le Yang-Tsé, on obtient un supplément de production électrique d'environ 170 KWh par hectare de forêt et par an, soit au tarif français de vente de l'électricité (0,13€ /KWh) un bénéfice annuel qui serait de l'ordre de 20 % de la valeur de la production de bois.



Source : Guo et al. 2000. *An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production*. Ecological Applications, 10 : 925-936.



DES FORÊTS ENTRE TERRE ET MER

LES SERVICES MULTIPLES DES MANGROVES

Sous les tropiques, la situation topographique des mangroves fait d'elles des forêts d'une grande richesse en espèces dont les populations humaines ont toujours su tirer parti.

© J. Portecop



© J. Portecop



Forêt et écosystème spécialisé des zones tropicales ou subtropicales, la mangrove peut se concevoir selon des points de vue différents. En tant que forêt, elle se développe sur des sols salés pauvres en oxygène le long des littoraux protégés. En tant qu'écosystème, la mangrove accueille un réseau d'êtres vivants d'une grande richesse dont l'interdépendance est associée aux chaînes alimentaires (des producteurs végétaux, que sont le phytoplancton, les algues et les arbres, aux consommateurs primaires, secondaires et tertiaires extrêmement divers, représentés par l'ensemble des embranchements du règne animal). Toutes les espèces sont remarquablement adaptées à leur milieu influencé par la fréquence et la hauteur des submersions des eaux douces ou salées qui affectent les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau.

Autant d'espèces qui deviennent des ressources directement consommables pour les êtres humains et qui, de fait, peuvent être prises en compte, selon l'échelle considérée - locale, régionale ou globale - comme des services fournis par la mangrove.

En terme de services directs, la forêt fournit du bois de construction, des poteaux téléphoniques, du bois de traverse, du bois pour la fabrication de toutes sortes d'objets. Du bois de chauffage, du charbon de bois, du fourrage, des tanins sont extraits de l'écorce du palétuvier rouge (*Rhizophora mangle*). De la forêt, on extrait également des colorants et substances médicinales, ainsi que du miel.

Sources de nourriture, les espèces animales des mangroves sont soit prélevées - c'est le cas des moules, des huîtres, des clams et des crabes - soit élevées en aquaculture pour les crevettes, notamment dans les pays asiatiques. Mais dans ce dernier cas, le déboisement de la mangrove est nécessaire à l'élevage, ce qui nuit à l'ensemble des services associés de l'écosystème au profit d'un seul et même service. Cependant certains pays limitent le déboisement en associant des plantations aux élevages (Madagascar).



Source : Norman C. Duke. 1998. *Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves*. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7 : 24-47.



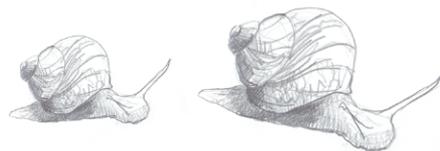
OPÉRATION NETTOYAGE

LE NÉCESSAIRE CORTÈGE D'ESPÈCES IMPLIQUÉES DANS LE RECYCLAGE DU BOIS MORT

L'entreprise de décomposition et de recyclage du bois mort est capitale dans la vie forestière, car elle remet en circuit les sels minéraux et nutriments qui garantissent le maintien de la productivité et facilite la régénération naturelle des arbres.



© B. Saurel



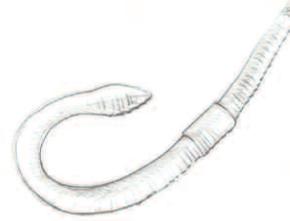
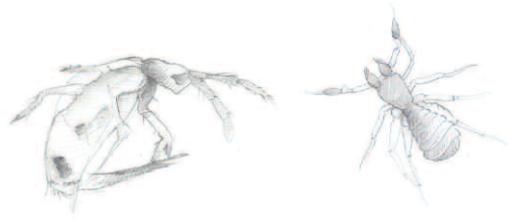
Certains fonctions et services écosystémiques particulièrement délicats nécessitent la coopération de multiples acteurs. C'est le cas du recyclage du bois mort.

Au terme de la vie de l'arbre, une longue phase de décomposition, puis de recyclage d'une masse colossale de tissus morts se met alors en route. La quantité de bois mort sur pied ou à terre, dans les grandes forêts primaires de plaine d'Europe, est de l'ordre de 100 à 150 m³ par hectare, ce qui représente 40 à 140 arbres. Chacun d'eux représente un gigantesque chantier pour le délabrer et le réincorporer dans l'humus. L'écosystème forestier a été à l'origine des groupes d'organismes décomposeurs sans doute les plus complexes, les plus diversifiés et les plus efficaces qu'on puisse trouver en milieu terrestre, tant le matériel à recycler, la lignine, est abondant et indigeste. Décomposer un grand arbre mort est une entreprise de longue haleine qui peut durer dix à quarante ans, voire davantage, selon la nature de l'arbre et le climat local.

Dans les forêts d'Europe, l'entreprise de recyclage du bois mort est assurée par quelque 10 000 espèces de micro-organismes, de champignons, de plantes, d'insectes et d'arthropodes divers dont les individus se comptent par millions. Ils sont structurés en communautés qui se succèdent selon un ordonnancement précis, chacune s'étant spécialisée, comme dans un ballet bien réglé, à un certain stade du processus de décomposition. Celui-ci comprend trois phases principales, la phase de colonisation de l'arbre mort ou mourant, la phase de décomposition où les larves de coléoptères et de certaines familles de diptères jouent un rôle déterminant, puis la phase d'humification correspondant à l'incorporation dans



Illustrations : B. Saurel

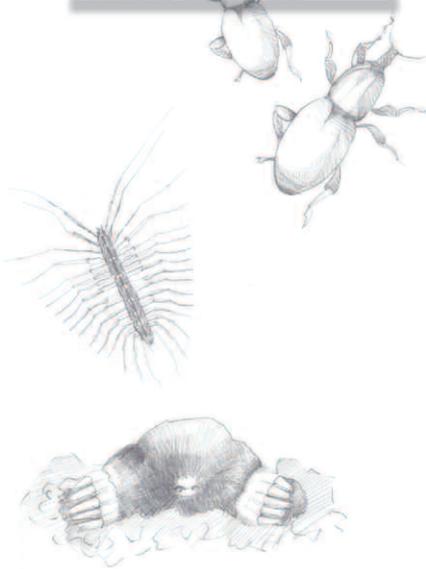


© L. Garnier

le sol des derniers vestiges de lignine décomposée. Les espèces participant à tous ces processus de recyclage du bois mort sont dites « saproxyliques » ou « saproxylophages ». Elles sont étroitement spécialisées à un stade précis du processus de décomposition et constituent des peuplements d'une extrême complexité avec une grande diversité de types adaptatifs, symbioses et processus de compétition, de prédation et de parasitisme. Près du tiers des milliers d'espèces qui vivent dans la forêt sont impliquées dans le recyclage du bois mort.



Source : Vallauri, D., André, J. & Blondel, J. 2002. Le bois mort, un attribut vital de la biodiversité de la forêt naturelle, une lacune des forêts gérées. Rapport scientifique, WWF, Paris.



© L. Garnier



Peu de risques

Une analyse des sinistres en forêt domaniale en 2003 et 2004 confirme que le risque de chute d'arbres ou de branches associé aux arbres morts ou sénescents est très limité et les dommages majoritairement matériels et de faible gravité.

Pour en savoir plus : www.gip-ecofor.org

DES FORÊTS MIXTES

QUAND LA PRODUCTION AGRICOLE S'INVITE AU MILIEU DES ARBRES

En associant sur une même parcelle des arbres et des cultures annuelles (et/ou de l'élevage), l'agroforesterie est favorable à la biodiversité par le nombre d'espèces associées, par l'aménagement de continuités écologiques et le maintien de sols fertiles et productifs.



© L. Garnier



© G. Elsner

L'agroforesterie correspond à des logiques d'exploitation agricole favorisant la diversification des activités. Elle tire parti de la complémentarité des arbres et des cultures pour mieux valoriser les ressources du milieu. Le mélange des arbres et des cultures, ou de l'élevage, recèle plusieurs avantages. Pour les cultures, les arbres ont un rôle protecteur contre le vent et le climat (ensoleillement, pluie, etc.). Leur racines fixent et stimulent la microfaune et la microflore des sols. Elles permettent d'enrichir le sol en matière organique et de récupérer en profondeur des fertilisants lessivés. Pour les parcelles pâturées, les arbres fournissent du fourrage pour le bétail, à des périodes qui complètent le calendrier de pâturage. Sur le plan forestier, un large espacement des arbres accélère leur croissance en diamètre (+80 % sur 6 ans dans la plupart des plantations expérimentales). Enfin sur le plan environnemental, la somme de la production de bois et de la production agricole est supérieure à la production séparée sur la même surface. Par exemple, les mauvaises herbes spontanées présentes dans les jeunes boisements sont remplacées par des cultures récoltées ou pâturées : l'entretien est moins coûteux et les ressources du milieu mieux utilisées.

Les parcelles cultivables portant des cultures agricoles intercalaires et des arbres forestiers correspondent à l'agrisylviculture, les parcelles boisées avec de l'herbe et un sous-bois pâturé au sylvopastoralisme.



Pour en savoir plus : <http://www.agroforesterie.fr>



« La forêt servait à la pâture de tout le bétail. Chevaux, vaches et moutons, y étaient envoyés et parqués tout l'été...La forêt, qui nourrissait le laboureur de son gibier, lui nourrissait donc aussi en partie son bétail. Elle était le pâturage d'appoint. Mais pour l'homme ancien, la forêt était riche de mille autres ressources. Le villageois primitif exploita dans la forêt l'arbre et le bois dont il avait besoin, le chêne dont il édifiait les charpentes de ses édifices, l'orme dont il faisait des chars et des roues, le bouleau dont il tirait des cercles et des côtes de corbeilles. L'antique campagnard sut trouver aussi sous les bois les fruits inestimables, les pommes et les noisettes dont il faisait grand cas, l'airelle sauvage, les champignons ; et il continua d'y venir chercher les plantes et les simples dont une très ancienne expérience lui avait appris les vertus ».

Gaston Roupnel, extrait de Histoire de la campagne française - 1932, Ed. Grasset.

RENAISSANCE DE LA FORÊT

LES SERVICES FORESTIERS RECONSTITUÉS EN ZONE DE MONTAGNE

En Europe occidentale, de nombreux massifs forestiers ont été détruits au cours des siècles passés par le surpâturage et les excès de coupe de bois. Mais avec de la volonté, les êtres humains sont capables de reconstituer les services rendus par la biodiversité.

Le milieu du 19^e siècle fut une époque d'intense délabrement des forêts dans le sud de la France. Les effets du surpâturage, du prélèvement excessif de bois et des essarts par les populations humaines ont conduit à un dénuement de l'ensemble des massifs forestiers, notamment ceux de massifs célèbres comme le Mont Aigoual, le Canigou ou le Mont Ventoux. A cette époque, ne subsistaient plus dans ce dernier massif que quelques lambeaux de pin à crochets, sapin, hêtre vers le haut de cette montagne et, plus bas, de maigres taillis de chêne. Les habitants des villages du pied de la montagne se lamentaient périodiquement de cet état de fait fort préjudiciable à leurs activités. A chaque pluie importante, ils observaient l'intense érosion qui ravinaient les sols et entraînait des tonnes de boue dans leurs villages.

Le maire de la commune de Bédoin, M. Eymard, prit alors l'initiative d'une véritable croisade en faveur du reboisement. Il réussit à convaincre les pouvoirs publics du bien-fondé de son initiative. En 1860, une loi spécifique destinée à reboiser les montagnes fut votée avec l'appui personnel de Napoléon III. Cette « loi d'essai » donna d'importants moyens à l'administration forestière pour délimiter des périmètres où le reboisement pouvait être exécuté d'office. L'objectif était ambitieux puisqu'il concernait une surface de 1 133 743 hectares ! L'épopée de reboisement fut spectaculaire et exemplaire par son efficacité. Facilitée par la relative opulence du pays qui permit le financement de vastes chantiers de reboisement, elle permit au couvert forestier de se reconstituer peu à peu au point que dès le début du 20^e siècle, un véritable manteau forestier était reconstitué.



Les premiers reboisements firent surtout appel aux semis puis, à partir de 1873, on eut recours aux plantations à partir de pépinières créées sur place.

Le choix des essences fut le plus proche possible des essences naturelles : on replanta l'essence la mieux appropriée à chaque étage bioclimatique, chêne vert dans l'étage « méso-méditerranéen », chêne pubescent dans l'étage « supraméditerranéen », hêtre dans l'étage montagnard, pin à crochets dans l'étage « oro-méditerranéen ». Puis on fit quelques « essais », par exemple le cèdre de l'Atlas qui fut une véritable réussite, la magnifique cédraie d'aujourd'hui couvrant plus de 500 hectares, ou le Pin noir qui forme des peuplements de belle venue. Les travaux étaient très soignés : larges potets - des trous qui contiennent les semences-, confection d'abris de pierres plates pour les plants, épandage de gravier pour conserver l'humidité, arrosage à la main des plants tout juste repiqués etc.

Cent cinquante ans après le début de cette saga, le résultat est là : la reconstitution d'un couvert forestier qui permit le retour d'une flore et d'une faune spontanées d'un intérêt remarquable. Le retour des grands mammifères en est un témoignage puisqu'on rencontre aujourd'hui dans le massif du Ventoux de belles populations de cerf, chevreuil, mouflon, sanglier et même chamois dans les parties escarpées du versant nord.

Si le Mont Ventoux est devenu une Réserve de Biosphère (programme de L'UNESCO *Man and Biosphere*), c'est bien grâce aux efforts gigantesques de tous ceux qui, à tous les niveaux, furent les artisans de cette spectaculaire restauration de la forêt.



Source : Le Mont Ventoux. Forêt Méditerranéenne, tome 28, n° 4, 2007.



Les conditions pour la vie

Devrait-on tous les jours remercier les plantes et les microorganismes qui nous fournissent de l'oxygène pour respirer ? Leur plus grand service - parmi tous les autres - est peut-être celui-ci. Mais il ne pourrait exister sans toutes les autres fonctions associées : recyclage de la matière et des eaux douces, reproduction et dispersion des organismes, activité biologique des sols,...

La planète Terre a cette capacité de maintenir la vie. Et c'est surtout grâce à son atmosphère terrestre qui absorbe le rayonnement solaire ultraviolet, qui en réchauffe la surface par la rétention de chaleur (effet de serre) et qui en réduit les écarts de température entre le jour et la nuit. Composée de divers gaz, principalement de l'azote et de l'oxygène, cette atmosphère permet également à de très nombreux organismes de respirer. De l'oxygène dont il convient de noter qu'il provient d'une explosion de vie de cyanobactéries il y a environ 3,8 milliards d'années !

Les services d'auto-entretien

La fonction vitale de production d'oxygène par le monde végétal et microscopique (cyanobactéries, protistes) est considérée comme un service d'auto-entretien des écosystèmes. D'autres fonctions de base sont, elles aussi, « rangées » sous cette appellation. La formation des sols par exemple, le cycle des nutriments, les grands processus de la vie, comme le fait de manger et être mangé, qui assurent le fonctionnement et le maintien des écosystèmes. Toutes ces fonctions ont pour particularité d'agir sur les autres services des écosystèmes dont bénéficie l'humanité : services culturels (la forêt produit de l'oxygène tout en étant récréative), services d'approvisionnement (la forêt fournit du bois), les services de régulation (la forêt épure les eaux de pluie).



Les services de régulation

Les services de régulation sont le résultat de processus liés aux écosystèmes. Le climat en une région donnée est, par exemple, fonction, pour partie, du couvert végétal et de ses interactions avec l'océan, ou la montagne, etc. Et ce couvert végétal dépend lui-même de sa diversité et de sa composition en espèces. Parmi les autres services de régulation, on peut citer l'épuration des eaux douces ou le contrôle de la propagation des parasites et microbes dangereux.

Un enchevêtrement nécessaire mais difficile à évaluer

Mais il n'est pas toujours simple, lorsque l'on cherche à évaluer tel ou tel service, de l'attribuer à un écosystème donné. Une eau douce de qualité est-elle fonction du type de forêt, du type de sol qui lui est lié et qui a permis de filtrer les eaux de pluie, du bon état des berges de la rivière dont les plantes ont un rôle dans son épuration ? Un service donné dépend de plusieurs types d'organismes. Les études tendent cependant à montrer qu'un niveau élevé de biodiversité accroît la capacité des écosystèmes à s'adapter aux changements environnementaux et à affronter les catastrophes naturelles.

La terre

- Les organismes du sol produisent des services essentiels aux sociétés humaines.
- Ils fertilisent le sol : ils décomposent la matière organique et facilitent l'assimilation des nutriments minéraux disponibles pour les plantes.
- Ils protègent les cultures : plus la biodiversité d'un sol est élevée, plus il y a de chance que les ennemis naturels des parasites des cultures s'y trouvent en grand nombre.
- Ils régulent le cycle de l'eau et luttent contre l'érosion des sols : en créant un vaste réseau de galeries souterraines, les organismes favorisent l'infiltration de l'eau.



Depuis quelques années, des recherches tentent de développer des outils de surveillance de la qualité des sols en se basant sur la connaissance de la biodiversité du sol.

DES SOLS FERTILES

LA TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

En France, on s'intéresse de près à une certaine catégorie d'organismes : les bactéries et les champignons vivant sous terre. Êtres microscopiques invisibles à l'œil nu, ils sont désormais considérés comme les porteurs d'avenir des sols. Et pour cause ! Ils sont les plus grands transformateurs de la matière organique qui existent. Grâce à eux, un composé organique structuré inutilisable par une plante est converti en nutriment minéral, source de croissance verte. Sans eux, pas de minéralisation de la matière organique des sols et donc pas de fertilité.

À l'automne 2011, une étude nationale (ECOMIC-RMQS) a dévoilé que les communautés microbiennes sont organisées et que leur abondance dépend du mode d'usage des sols (forêts, grandes cultures, prairies...) et de ses caractéristiques physico-chimiques (acidité, par exemple). Ainsi, la manière d'utiliser les

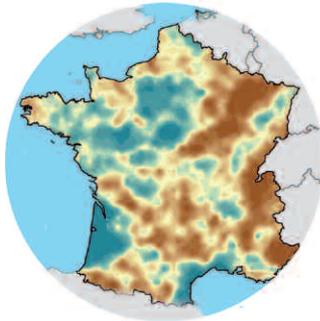


Il existerait plus de deux cents millions d'espèces de bactéries et de champignons dans les sols dans le monde. Seuls 5 % auraient été identifiés à ce jour.

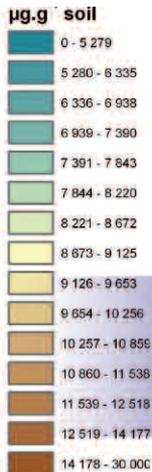


Les sols orientent considérablement la biodiversité. Les vignes et vergers se révèlent comme les moins favorables à la croissance microbienne dans les sols. Le nombre de microorganismes augmente en revanche progressivement dans les grandes cultures, les prairies, puis dans les forêts d'essences mélangées. L'étude montre également que les communautés varient d'une région à une autre. La région du sud-est est par exemple très diversifiée.

Pour les chercheurs, il « reste » maintenant à identifier les espèces pour dresser des inventaires. Une tâche fastidieuse basée sur l'étude des molécules d'ADN récoltées. L'objectif sera de réaliser des cartes d'aptitude des sols à fournir des services écologiques, tels que la fertilisation et le recyclage de la matière organique. L'idée est d'avoir la possibilité d'organiser des parcelles au sein d'un paysage agricole pour gérer leur « potentiel vivant » et d'augmenter ainsi la diversité à toutes les échelles : successions de cultures, couverts végétaux sur les parcelles, les haies, les bandes enherbées... en bref, se faire gestionnaire d'une usine naturelle en fertilisants !



QUANTITÉ D'ADN



Pour en savoir plus : http://www.dijon.inra.fr/plateforme_genosol

Les sols accueillent un quart des espèces vivantes sur Terre. Dans un sol d'une prairie tempérée, la biomasse bactérienne peut représenter une à deux tonnes par hectare. Soit l'équivalent de une à deux vaches !

LES ORGANISMES DU SOL

DES AMIS DES PLANTES ET DES HUMAINS

La réduction de la biodiversité du sol lui fait perdre ses fonctions et ses services : le sol change de structure, la matière organique ne se dégrade plus, et l'on est obligé d'avoir recours à des engrais.



© H. Hillewaert

Sous nos pas, rendue invisible par sa petite taille et sa vie cachée, se trouve pourtant l'essentiel de la biodiversité. Bactéries, champignons, nématodes, vers de terre, arthropodes s'organisent pour constituer des réseaux trophiques au travers desquels transite la matière organique produite par les plantes. C'est de cette façon que sont libérés par minéralisation les nutriments (azote, phosphore, calcium, potassium), essentiels à la maintenance de la biodiversité végétale et animale. C'est aussi grâce aux réseaux trophiques du sol que se forme l'humus, indispensable au stockage du carbone, garant du maintien de la vie lorsque la couverture végétale disparaît (chablis, exploitation forestière, récoltes) et à la régulation du carbone atmosphérique (puits de carbone).

Quelles sont les menaces qui pèsent sur la vie du sol ? Les récoltes d'espèces rares n'affectent pas les organismes du sol protégés par leur petitesse et leur habitat souterrain. Certaines pratiques rendent par contre le sol impropre à la vie. Pollution, pesticides, labour profond, érosion, déboisement rendent le sol inhospitalier aux organismes les plus sensibles. Cette réduction de la biodiversité s'accompagne de pertes de fonctions ou services: le sol perd sa structure, devient compact ou au contraire pulvérulent, la matière organique ne se dégrade plus. On est obligé d'avoir recours à des engrais et à un travail accru du sol. Le sol et l'homme sont alors engagés dans un processus sans fin, où chacun s'agrippe à l'autre pour ne pas tomber.



Pour en savoir plus : La vie cachée des sols, 2010 ; téléchargeable sur www.ademe.fr et «Le sol vivant, troisième édition». 2010. J.-M. Gobat, M. Aragno, W. Matthey, Presses Universitaires Romandes.



LE VER DE TERRE, STAR DES PROFONDEURS

UN INGÉNIEUR DE L'ÉCOSYSTÈME

Avec toutes leurs qualités, les vers de terre ont été élevés au rang d'indicateurs de la qualité des sols par les scientifiques. Leur densité en France représente celle des êtres humains sur Terre.

Charles Darwin, en observant jour et nuit dans son jardin le lombric terrestre (*Lumbricus terrestris*), le plus gros de nos vers communs, avait démontré dès le milieu du dix-neuvième siècle qu'il était capable d'intelligence. Ses choix alimentaires sont bien délimités, il choisit également soigneusement les endroits où il va faire son « nid » et aménage son lieu de vie, qui profite à de nombreux organismes : bactéries, arthropodes, plantes, pour qui les galeries constituent des chemins tout tracés pour les racines. Également capable d'apprentissage, il utilise son odorat à distance avant de se décider à « goûter » le sol : le lombric est à lui tout seul un véritable laboratoire d'analyses, d'où sa qualification d'organisme-ingénieur.

Cette capacité à anticiper et son activité incessante rendent cet invertébré extrêmement performant dans les sols où il décide de s'installer. Il est capable de s'acclimater et de modifier la structure du sol, tout en incorporant la matière organique à la matière minérale, améliorant ainsi la fertilité. Ses exigences ? Il ne faut pas que le sol soit trop acide, ni pollué, son « nez » l'en éloignerait ! Dans un écosystème forestier en évolution naturelle, sous la forme d'une mosaïque de phases de développement (ce que la gestion par grandes unités de surface ne permet pas), on observe une alternance de sols propices à la régénération (phases jeunes ou âgées) et de phases impropres à celle-ci (phases de croissance intense des arbres) en fonction des « décisions » prises par notre ingénieur.



© Rasbak



Pour en savoir plus : <http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/news.php>



D'UN ARBRE À UN AUTRE

LA VIE DU SOL AU CŒUR DES FORÊTS

Un arbre est construit tel un iceberg. Son tronc, ses tiges et ses feuilles ne constituent qu'une infime partie visible de son être ; l'autre étant souterraine avec ses racines et les champignons qui leur sont associés. Ces réseaux souterrains jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement et la structuration des communautés végétales.

© Nilsson et al., BMC
Bioinformatics 2005



Tel le vaste réseau de neurones qui alimente le cerveau humain, le sol forestier est constitué d'un entrelacement de racines et d'espèces de champignons différents toutes mêlées les unes aux autres, plus ou moins interconnectées suivant les affinités, les besoins en eau et en matières minérales de chacune.

Si le fonctionnement de ce réseau reste encore largement méconnu, on sait depuis 1997, grâce à Suzanne Simard et ses collègues de l'université de Vancouver, que les mycorrhizes - l'association mutualiste entre les champignons et les racines - participent au transfert de carbone entre des arbres voisins même s'ils ne sont pas de la même espèce. Dans la jeune forêt de bouleaux et de conifères, constitués de douglas et de tsuga, que les chercheurs ont étudié près de 90 % des racines de bouleau et de douglas étaient colonisées par les sept mêmes espèces de champignons. Tandis que celles du tsuga étaient colonisées par des champignons différents. Afin de connaître les éventuels transferts de matière entre les arbres via leur sève élaborée, l'équipe de chercheurs canadiens a fourni du dioxyde de carbone enrichi en carbone-13 au bouleau et en carbone-14 au douglas. Résultat : le carbone-14 du douglas s'est retrouvé chez le bouleau et le carbone-13 du bouleau chez le douglas. Le tsuga n'a presque rien reçu. Ce qui était logique puisque ses racines étaient associées à d'autres espèces de champignons. En revanche, en creusant une tranchée entre bouleau et douglas, le flux de carbone s'est interrompu, montrant combien les organismes fonctionnent en interconnexion souterraine.

Depuis, d'autres expériences ont confirmé l'importance de ces réseaux communs de mycorrhizes sur les relations entre les plantes vertes. Carbone, phosphore et azote sont largement au cœur des processus d'échanges. Des processus que les organismes du sol tels que les vers de terre et les collemboles sont capables de modifier. C'est donc toute la biodiversité du sol qui participe au fonctionnement forestier !



Sources : Sélosse, M.A., Richard, F. et Courty, P.E., 2007. La Recherche, 411 : 58-61.

DES MONTICULES À LA VIE LONGUE

DES VESTIGES PRÉCOLOMBIENS
SONT MAINTENUS GRÂCE
À DES ORGANISMES DU SOL

Certains écosystèmes conçus par les humains peuvent être conservés à travers les siècles grâce à une communauté auto-organisée mêlant des animaux du sol et des végétaux.

Dans les savanes marécageuses de Guyane vivent des communautés bien singulières au sein de petites buttes : fourmis, termites, vers de terre, plantes et autres organismes s'y sont en effet préférentiellement installés. Mais l'originalité de ces buttes tient à leur durée de vie. Depuis leur abandon par les populations précolombiennes après la conquête européenne, elles ont perduré jusqu'aujourd'hui. A l'époque (entre l'an 1000 et l'an 1250 environ), les habitants les utilisaient en effet pour l'agriculture, une pratique complètement oubliée à l'heure actuelle. Après l'abandon des champs, les organismes du sol ont pris le relais. Les insectes sociaux (termites, fourmis) amènent continuellement de la matière organique à la surface des buttes, où sont concentrés leurs nids. D'autre part, grâce à leurs actions sur la porosité du sol, la capacité d'infiltration des eaux de pluies y est neuf fois plus élevée que dans la plaine inondée. Tout cela compense les pertes dues à l'érosion tout en la limitant. Un mécanisme fait pour durer !



Pour en savoir plus : D. McKey et al. 2010. *Pre-Columbian agricultural landscapes, ecosystem engineers, and self-organized patchiness in Amazonia*. PNAS, 107 : 7823-7828.

<http://www.pnas.org/content/107/17/7823.full.pdf+html>



© D. McKey

1 cm



© D. Descouens

© D. McKey

Oxygène et carbone

L'air est un mélange de gaz. Il est constitué d'environ 78% d'azote, 21% d'oxygène et 1% d'autres gaz, dont 0,0384% de gaz carbonique. La part de ce gaz augmente au cours du temps : il représentait 0,0278% avant la révolution industrielle, puis 0,0315% en 1958 pour atteindre 0,0384% en 2008. Son augmentation est en partie due à la déforestation et à l'utilisation des énergies fossiles (charbon, pétrole) issues de la biodiversité passée.

Source « d'alimentation » du monde végétal et d'autres organismes, une plus grande quantité de gaz carbonique dans l'air déséquilibre leur biologie, pour l'instant positivement : les populations ont tendance à croître. Mais dans les océans, l'eau de mer a tendance à s'acidifier... Alors toute la question est de savoir si les services d'auto-entretien des écosystèmes liés au renouvellement de l'air vont se maintenir au cours du temps ?

La photosynthèse est un mécanisme biologique produisant de l'oxygène et des sucres. C'est un service rendu par la biodiversité nécessaire à la vie animale. Les organismes photosynthétiques sont à la base de la chaîne alimentaire et renouvellent en permanence l'air atmosphérique.

PHOTOSYNTHÈSE, SOURCE DE VIE

QUI PRODUIT LE PLUS DE CARBONE SUR LA PLANÈTE ?

La nature sait être très productive, même sans engrais. La photosynthèse, qui permet de convertir les rayonnements solaires et le gaz carbonique en énergie et en oxygène, est l'œuvre d'une variété d'organismes des plus microscopiques au plus extravagants, plantes vertes incluses.

L'énergie totale fixée par la photosynthèse est appelée la production primaire brute. Une partie de cette énergie est brûlée par la respiration, dont tous les animaux usent pour vivre, ainsi que les plantes, surtout la nuit. De cette énergie totale reste donc une « énergie restante », la production primaire nette. Dans le monde végétal, elle se matérialise par la fabrication



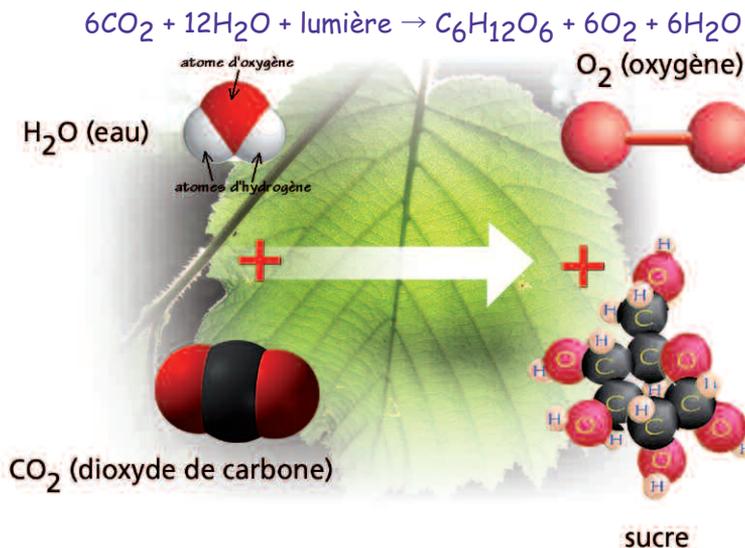
de feuilles, de tiges et de racines. En langage scientifique, on parle de biomasse produite par unité de temps et par unité de surface.

Ces dernières années, cette biomasse est devenue un véritable enjeu de connaissance, car elle est surtout constituée de carbone. Normal, puisque la photosynthèse est avant tout une transformation du gaz carbonique (CO_2) de l'air. Avec la montée en puissance des préoccupations relatives au changement climatique et à l'augmentation des rejets en CO_2 par les populations humaines, on souhaite évaluer ce que produisent les végétaux dans tous les milieux terrestres. Histoire de savoir « qui » produit le plus de carbone sur la planète.

Sans surprise, les forêts tropicales humides remportent la palme de la production primaire nette, avec 2 200 à 2 500 grammes par mètre carré et par an. Les terres cultivées, quant à elles, produisent en moyenne 650 g par m² et par an.

Toutes ces estimations ont permis de déduire que, chaque année, la production primaire nette est représentée par une biomasse de 124 milliards de tonnes répartie sur tous les continents. A laquelle il faut ajouter une production de 107 milliards de tonnes dans les océans.

Le plus merveilleux des services écosystémiques terrestres, la fabrication d'oxygène issue de la photosynthèse, provient donc de 231 milliards de tonnes de biomasse terrestre et aquatique. Poétique, non ?

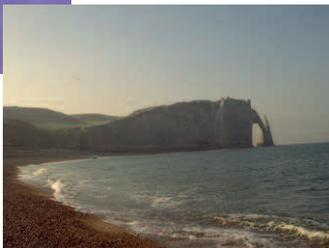


PETITS MAIS EFFICACES

LE PHYTOPLANCTON, L'AUTRE POUMON DE LA TERRE

Près de la moitié de l'oxygène atmosphérique est synthétisée par la vie microscopique des océans. Pourtant, le rôle de ces organismes dans les grands cycles biogéochimiques de la Terre reste encore méconnu.

© Ifremer - M. Gouillou



Dans les océans, où l'on a tendance à parler de forêts marines dans les bandes littorales où croissent les algues et herbiers de plantes à fleurs, les vraies forêts sous-marines sont invisibles à l'œil nu. Elles sont composées d'organismes minuscules, regroupés par millions, dont on découvre seulement l'incroyable diversité. Si plus de 40 000 espèces ont été identifiées, on suppose leur nombre compris entre 200 000 et un million d'espèces. Mais l'organisme photosynthétique le plus abondant sur Terre est la cyanobactérie, *Prochlorococcus*, dont la taille atteint moins d'un millième de millimètre de diamètre.

Toutes sont regroupées sous le nom de phytoplancton - du grec, « phytos » pour végétation et « plangkτός » pour « errant » - et toutes réalisent, comme les plantes, la photosynthèse. Avec l'énergie solaire, des nutriments et le gaz carbonique de l'atmosphère, elles fabriquent des sucres et rejettent de l'oxygène. Près de la moitié de l'oxygène atmosphérique est ainsi synthétisée dans l'océan. Un service vital à tous les animaux usant de la respiration pour vivre. Et à l'espèce humaine, par la même occasion !



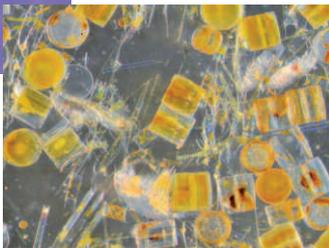
Chaque millilitre de l'océan contient en moyenne un million de bactéries et 10 millions de virus.

LES TERRES DE DEMAIN

LE PHYTOPLANCTON, PIÉGEUR DU CARBONE

Depuis leur apparition il y a environ un milliard d'années, les squelettes des protistes sédimentés au fond des mers contribuent à stocker des éléments chimiques du vivant, et notamment le carbone, dans les sous-sols de la planète.

© Ifremer - O. Dugormay



On n'imagine pas ce que peut produire l'accumulation de petits êtres... Pourtant face aux imposantes falaises de craie, l'évidence s'impose. Ce sont bien les restes d'organismes planctoniques qui, à l'ère des dinosaures, ont contribué à fabriquer ces roches. Et cela, grâce à une originalité : leur squelette. Nombre d'espèces phytoplanktoniques - en particulier le groupe des protistes - fabriquent un squelette, à partir de silice, de calcium, de strontium, etc. et surtout de gaz carbonique (CO_2) dissous dans l'eau de mer. Mais à leur mort, les squelettes sédimentent au fond des océans, piégeant ainsi pour des millions d'années le CO_2 fixé. Et si personne ne vient les extraire et les brûler, comme les êtres humains le font aujourd'hui avec le pétrole, ce CO_2 reste emprisonné, incapable de revenir à l'atmosphère. Ce phénomène est appelé la pompe à carbone biologique.

Depuis la période pré-industrielle, la moitié du CO_2 émis par la combustion des fuels fossiles et de la production du ciment a ainsi été stockée dans les océans.



Source : Biodiversité en environnement marin : synthèse en sciences environnementales et humaines. 2012. P. Gouilletquer, P. Gros, G. Boeuf, J. Weber (Coord.), Ed Quae.



Au cours du vingtième siècle, trois milliards de tonnes de carbone ont, en moyenne, été stockées dans les forêts mondiales chaque année. Les puits de carbone augmentent dans les forêts tempérées et boréales mais ils ont tendance à régresser dans les forêts tropicales. Dans un contexte de changement climatique et avec une recrudescence de phénomènes extrêmes (tempête, sécheresse et incendie), il est difficile de prévoir l'avenir des forêts.



Le rôle de la forêt est essentiel dans la lutte contre le réchauffement climatique provoqué par les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

VIVE LES ARBRES !

LES FORÊTS SONT INDISPENSABLES POUR ABSORBER LE CO₂

Les forêts du monde entier absorbent un tiers du gaz carbonique émis par les combustibles fossiles (pétrole, charbon). Mais elles pourraient être plus efficaces s'il n'y avait pas de déforestation.

Une étude portant sur la période 1990-2007 montre que la destruction des arbres produit environ 20 % des émissions mondiales de gaz carbonique. Le volume de carbone ainsi émis est contrebalancé par celui absorbé par les forêts primaires mais également par la repousse d'arbres sur des surfaces auparavant réservées à l'agriculture, notamment en zone





Les échanges de carbone entre l'atmosphère terrestre et la végétation ne sont jamais équilibrés. Lorsque les forêts stockent plus de carbone (forte croissance), qu'elles n'en libèrent par la respiration, elles séquestrent le carbone et jouent un rôle positif dans la régulation en gaz carbonique de l'atmosphère. Elles sont alors considérées comme des « puits de carbone ».

On évalue à 4 milliards d'hectares la surface forestière dans le monde. Environ 44 % du carbone est stocké dans le sol, 42 % dans les arbres, 8 % dans le bois mort et 5 % dans l'humus.

tempérée, où le puit de carbone s'est accru de 17 % entre 2000 et 2007 comparé à la période 1990-1999. Sans la déforestation qui touche surtout les bassins tropicaux (Amazonie, Congo, Indonésie), les forêts existantes et en régénération absorberaient la moitié des émissions des combustibles fossiles et non pas un tiers comme actuellement.

L'étude montre aussi que la densité de carbone stockée dans une forêt tropicale et dans une forêt boréale est à peu près la même mais que la répartition est différente. En forêt tropicale, environ 60 % du carbone est retenu dans le bois et 32 % dans le sol. En forêt boréale, c'est l'inverse avec 20 % dans la biomasse et 60 % dans le sol.



Pour en savoir plus : Pan, Y., Birdsey, R. A, Fang, J. et al. 2011. *A large and persistent carbon sink in the world's forests, 1990-2007*. Science, DOI:10.1126/science.1201609ol

LES FORÊTS TROPICALES FONT DE LA RÉSISTANCE

LA DIVERSITÉ DES ESSENCES DANS UNE FORÊT
REPRÉSENTE UNE ASSURANCE POUR L'AVENIR

Face aux changements globaux, les tempéraments variés des espèces forestières présentent une solution pour résister – dans la mesure du possible – aux modifications du climat et à d'autres facteurs environnementaux.

L'essentiel de la biodiversité végétale et animale terrestre se rencontre dans les grands massifs tropicaux des forêts denses et humides. Mais l'explosion de la population humaine dans ces régions, avec ses besoins en espaces et en ressources grignote leur surface de façon très alarmante. Ce qui s'accompagne d'un morcellement et d'un appauvrissement en espèces. Le changement climatique avec ses modifications de température, du degré d'hygrométrie, d'augmentation de feux de forêts et de vents violents vient s'ajouter à ces calamités depuis quelques décennies.

Ces écosystèmes riches et complexes constituent cependant l'une des meilleures assurances pour le maintien des fonctions forestières. Et ce, en raison de leur structure et du « tempérament » varié des essences. Prenons l'exemple de la forêt de Pasoh en Malaisie péninsulaire, un îlot d'une centaine d'hectares, non perturbé par les populations humaines et isolé dans une mer de plantations de palmiers à huile. On y a dénombré plus de 600 espèces d'arbres et d'arbustes dans une parcelle de 50 hectares. Une petite dizaine d'espèces peut être considérée comme assez fréquente - plus de cinq individus à l'hectare-, un quart n'apparaît qu'une à cinq fois, tout le reste présente des fréquences inférieures à un individu par hectare.

A ce très grand nombre d'espèces correspond presque autant de « tempéraments ». Les tempéraments reflètent les différences de stratégies des espèces végétales pour leur dissémination, la germination de leurs graines, leur occupation de l'espace, leur capacité à être compétitives pour la lumière, les nutriments, etc. ainsi que leur capacité à nouer des associations avec d'autres espèces... Certaines passent toute leur vie en sous-bois dans des



© L. Garnier



© L. Garnier



conditions de faible luminosité et de forte hygrométrie. D'autres ne peuvent pousser qu'avec un fort apport radiatif et profitent des trouées occasionnées par la chute des arbres. D'autres encore, telles la plupart des espèces de la voûte forestière commencent leur développement à l'ombre et passent le restant de leur vie en pleine lumière. Pratiquement toutes les situations intermédiaires se rencontrent. La plupart des espèces rares ou peu fréquentes possèdent des adultes isolés les uns des autres. En revanche, la majorité des espèces fréquentes a développé des stratégies d'occupation de l'espace par agrégats, de taille et de structuration interne très variables.

C'est cette diversité des tempéraments, associée au très grand nombre d'espèces, qui constitue la meilleure chance de maintien d'un couvert forestier et des fonctions qui lui sont associées. En effet, si les modifications du climat restent limitées, c'est-à-dire laissent un minimum de conditions nécessaires pour la survie de la flore locale, les espèces les plus sensibles disparaîtront, mais beaucoup d'autres, au spectre de tolérance plus vaste face aux variations environnementales, se maintiendront.



© L. Garnier

PETITS, EFFICACES, MAIS POUR COMBIEN DE TEMPS ?

LES SERVICES FOURNIS PAR LE PHYTOPLANCTON
MODIFIÉS PAR LES CHANGEMENTS GLOBAUX

Les changements globaux actuels modifient les interactions entre les organismes mais aussi avec leur environnement physico-chimique.

Face au changement climatique et à l'augmentation des teneurs en gaz carbonique (CO_2) de l'atmosphère, le phytoplancton sera-t-il toujours aussi efficace pour produire de l'oxygène et pomper le CO_2 au fond des océans ?

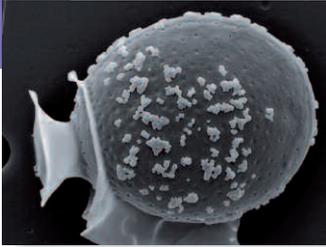
Pour l'instant, le réchauffement des eaux de surface diminue l'activité du phytoplancton. En se reproduisant moins, il fabrique moins d'oxygène, mais surtout, il modifie les équilibres existant entre les prédateurs et les proies. Car d'après les chercheurs, cela va réduire la nourriture disponible aux poissons mangeurs de zooplancton tels que les harengs, les sardines et les sprats. Conjugué à la surexploitation de ces poissons par la pêche, un tel phénomène risque d'entraîner la prolifération d'autres prédateurs du plancton : les méduses, indicateur d'appauvrissement de la biodiversité. A moins d'apprécier de nouveaux types de steaks, les océans risquent de devenir gélatineux...

Des océans de plus en plus acides

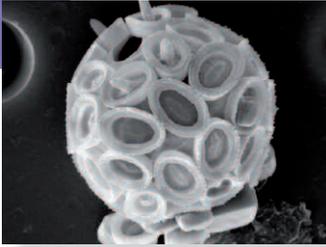
La seconde menace pesant sur le phytoplancton est l'acidification des océans. L'augmentation de CO_2 dans l'eau de mer induit des réactions chimiques en chaîne conduisant à une élévation en molécules acides. Si le CO_2 continue de croître dans l'atmosphère, les eaux océaniques de surface risquent d'être perturbées à un taux trois fois supérieur à d'autres périodes critiques de changement climatique terrestre, la stratification des eaux va s'accroître, limitant les échanges entre surface et fond des



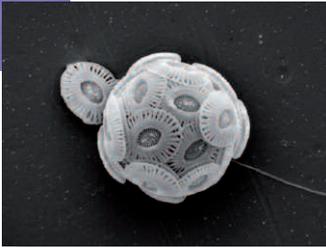
© M. Carmichael -
Eppo - SBRoscoff - CNRS



© M. Carmichael -
Eppo - SBRoscoff - CNRS



© M. Carmichael -
Eppo - SBRoscoff - CNRS



océans. Pour les scientifiques, prévoir comment les organismes vont réagir à ce phénomène relève d'exercices très délicats. Certains peuvent ne pas y résister et périr, d'autres s'adapter aux nouvelles conditions. Tout dépend également de la vitesse à laquelle le CO_2 issu des activités humaines, aujourd'hui localisé pour moitié à moins de 400 mètres de profondeur dans les océans, va pénétrer dans les plaines abyssales. Mais une chose est certaine, c'est bien grâce à la diversité des petits êtres marins planctoniques que l'atmosphère ne contient que 380 ppm de CO_2 atmosphérique au lieu de 435 ppm ; taux qui aurait été atteint dans l'atmosphère si le phytoplancton n'avait pas « pompé » le CO_2 depuis la période pré-industrielle.



Sources : Biodiversité en environnement marin: synthèse en sciences environnementales et humaines. 2012. Coord. P. Gouletquer, P. Gros, G. Boeuf, J. Weber, Ed. Quae.



L'eau

L'eau douce est le principal constituant des animaux et végétaux. Dans un corps humain adulte, par exemple, la quantité moyenne d'eau est de 65 %. Aussi importante que l'air et les rayons du soleil, cette denrée nécessite d'être renouvelée et exempte de pollutions pour maintenir la vie terrestre. Chaque année, la France reçoit environ 400 milliards de m³ d'eau de pluie. Les deux tiers s'évaporent et les 175 milliards de m³ restant alimentent les eaux de surface et souterraines. Selon le couvert végétal, les quantités d'eau stockées, évaporées ou ruisselantes sont différentes. En région tropicale, les forêts permettent une évaporation importante de l'eau, ce qui favorise les pluies.



LA SOURCE ET LA VALLÉE

L'HISTOIRE DE L'EAU DE VITTEL

Une eau potable de qualité est fonction de la préservation de la diversité des milieux naturels environnants. Cette préservation passe par des interactions positives entre les différents acteurs d'un territoire.

La réglementation française sur les eaux minérales naturelles interdit tout traitement visant à modifier la composition chimique de ces eaux et stipule en outre que cette composition doit rester constante. De telles eaux représentent une valeur économique exceptionnelle : une bouteille d'eau minérale naturelle peut être vendue à plus de 100 fois le prix de l'eau du robinet.

Dans les années soixante-dix, la source de Vittel, dans le département des Vosges, a observé une augmentation progressive de sa teneur en nitrates, du fait du développement des élevages et de l'agriculture intensive sur son bassin versant

© P. Xicluna-MAEE



© L. Garnier



d'environ 5 000 hectares. Cette augmentation, observée également dans de très nombreuses sources et rivières françaises, restait très en deçà du seuil de potabilité de 50 mg/l mais représentait un problème préoccupant pour une eau minérale naturelle. Chaque hectare de ce bassin versant « produisait » environ 260 000 bouteilles d'eau chaque année, ce qui représentait une valeur très supérieure à la production agricole.

La société des eaux de Vittel a donc investi 24 millions d'euros pour définir et promouvoir sur les parties les plus sensibles du bassin versant des pratiques agricoles limitant les pertes de nitrates vers les eaux souterraines. Elle s'est aussi attachée à favoriser de telles pratiques respectueuses de l'environnement pour la gestion des golfs et de l'environnement urbain dans le bassin versant. Aujourd'hui, l'eau de Vittel a retrouvé une teneur en nitrates de l'ordre de 4 mg/l.



Pour en savoir plus : J.-P. Amigues et B. Chevassus-au-Louis. 2012. Evaluer les services écologiques des milieux aquatiques : enjeux scientifiques, politiques et opérationnels, ONEMA. <http://www.onema.fr/collection-comprendre-pour-agir>



© B. Sauriel

© S. DuRAND

Manger ou être mangé

Si la plupart des plantes se nourrissent des rayons du soleil, d'eau et d'éléments minéraux, tous les animaux se nourrissent d'autres êtres vivants. La chaîne alimentaire définie par l'ordre croissant « plantes-herbivores-carnivores » est un fondement de la vie terrestre.



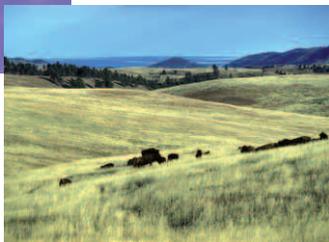
Cette étude de cas illustre le jeu subtil des équilibres qui s'établissent au sein des cascades trophiques entre productivité végétale, ongulés herbivores et grands prédateurs. Chacun des « niveaux » maintient des abondances compatibles avec l'équilibre du système.

DANS LES GRANDES PLAINES AMÉRICAINES

QUAND LES GRANDS PRÉDATEURS FONT LA LOI

A la fin du 19^e siècle, les vastes espaces qui allaient devenir le parc national de Wind Cave dans l'État du Dakota du Sud, aux États-Unis, étaient composés de paysages variés. Les uns, ouverts, portaient les stigmates d'incendies récents, tandis que d'autres étaient caractérisés par une riche végétation pâturée par des élans, daims, cerfs et antilopes. Ces nombreuses populations étaient contrôlées par un cortège fourni de grands mammifères prédateurs composé de loups, grizzlis, ours noirs, cougars, sans oublier les sioux, qui y pratiquaient leur chasse traditionnelle depuis des millénaires. La cascade trophique était de type top-down (encadré ci-contre).

L'introduction, en 1878, de bétail domestique dans d'immenses ranchs extensifs entraîna une raréfaction puis la disparition des grands ongulés sauvages. Elle entraîna aussi une guerre sans merci des propriétaires des ranchs à l'encontre des grands



© NPS Photo

© NPS Photo



prédateurs qui risquaient de décimer leurs troupeaux. De top-down, le milieu passa progressivement au type bottom-up, les écosystèmes étant désormais régulés par la production végétale. Lors de la création du parc national de Wind Cave, les ranchs d'élevage disparurent puis on réintroduisit, dès 1911, des bisons, des antilopes d'Amérique et des élans. Les populations de ces animaux réhabilités dans leur ancien habitat augmentèrent, mais en l'absence de leurs prédateurs naturels, cela entraîna de sérieux problèmes de surpâturage et l'arrêt de la régénération des arbres. Pour couronner le tout, l'éradication des grands carnivores, loups et ours, entraîna une prolifération de prédateurs plus petits, en l'occurrence les coyotes, qui décimèrent des populations d'oiseaux. Ce n'est qu'après la réintroduction des grands carnivores que les écosystèmes du parc national retrouvèrent leur fonctionnement d'origine. Outre les pressions de prédation qu'ils exercent, ces derniers « diluent » en effet les populations d'herbivores dans l'espace, permettant une homogénéisation des pressions d'herbivorie sur la végétation.



Sources : Ripple W.J. & Beschta R.L., 2007. *Hardwood tree decline following large carnivore loss on the Great Plains, USA*. *Frontiers in Ecology and Environment*, 5 : 241-246.

En cascades top-down et bottom-up

Les facteurs qui font croître la végétation et ceux qui la détruisent relèvent de ce qu'on appelle des cascades trophiques, à savoir cette succession d'organismes liés par des rapports de mangeurs à mangés : la feuille d'arbre qui se développe de manière autotrophe par la photosynthèse, le chevreuil qui la dévore puis le loup qui se nourrit du chevreuil. Ces cascades peuvent être de type top-down : la régulation du système se fait du haut vers le bas, par la prédation. Ou de type bottom-up : la régulation se fait du bas vers le haut, par la production végétale.

Des réseaux sophistiqués

Les relations que les organismes tissent entre eux sont variées à l'infini. Elles peuvent être amicales, hostiles, neutres, obligatoires, indirectes, parfois extraordinairement sophistiquées, témoignant toutes de forces évolutives pour les éviter, les contourner ou, au contraire, les favoriser. On trouve de tout : de la coopération, de l'altruisme, de la compétition, de la prédation, du parasitisme, ce dernier connaissant un immense succès puisque 50 à 70 % des espèces animales sont des parasites.



C'est souvent après la disparition des espèces que les êtres humains comprennent leur rôle vital dans l'équilibre de leur environnement.

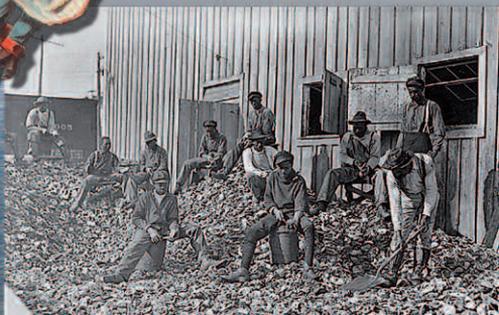
QUAND UN SERVICE DISPARAÎT... L'ÉPURATION DES EAUX PAR LES HUÎTRES

Estuaires multiples où les eaux salées de l'Atlantique pénètrent et se mélangent aux eaux douces venant du continent américain, la baie de Chesapeake a longtemps été un paradis pour les mammifères marins comme les cétacés et les loutres ainsi que les mollusques filtreurs. À tel point que ces derniers formaient des récifs dangereux pour les navigateurs du 18^e siècle. Réputée pour ses huîtres, la baie était un lieu où la pêche des huîtres se faisait à la main.

En 1865, de nouvelles méthodes de dragages furent légalisées. Ce fut le début d'une extermination dont les américains payent aujourd'hui le prix. En 1870, près de 700 bateaux opéraient dans la baie et vingt ans plus tard, ils étaient 1000. Le dragage fut tellement violent que la géographie des fonds sous-marins de l'estuaire fut modifiée. La surface et la hauteur des bancs d'huîtres diminuèrent et les espèces y trouvant leur habitat disparurent. Dès les années 1900, la pêche à l'huître était sinistrée.

Seulement, si à l'époque florissante, les pêcheurs d'huîtres et revendeurs se frottaient les mains, ils ne savaient pas que les tonnes d'huîtres récoltées étaient autant de filtreurs qui participaient à la régulation de la qualité des eaux de la baie, notamment en consommant le phytoplancton qui s'y développait. En trois jours, les huîtres, clams et autres mollusques filtraient

© P. Goullertquer



l'équivalent du volume de toute la baie. Avec la disparition des huîtres, et de 90 % des herbiers sous-marins, qui étaient des lieux de nourrissage et de nurserie de nombreuses espèces de poissons, mollusques et crustacés, cette activité de filtration a fortement ralenti. Le développement des bassins versants, avec la déforestation pour l'industrie du bois, l'agriculture et l'urbanisation accélérée ont profondément modifié l'environnement : les pluies ont charrié dans les estuaires quantités de rejets, polluants, et sédiments provoquant toutes sortes de nuisances et surtout l'enrichissement organique de la baie.

En 1930, les fonds sous-marins ont commencé à être privés d'oxygène. Sans prédateurs permettant de le réguler, le plancton de surface s'est multiplié et l'augmentation d'apports en phosphore et nitrates dans les eaux de ruissellement ont facilité sa croissance rapide. Désormais, les populations de poissons allaient se faire plus rares et la population humaine allait vivre des épisodes de multiplication de phytoplancton vertigineuse, les « blooms », dont certains toxiques pour les poissons et des épisodes de prolifération de méduses. Sans compter que les rares huîtres restantes ont subi, et subissent toujours des attaques de pathogènes.

Joyau de la côte est des États-Unis, la baie de Chesapeake est aujourd'hui choyée et soignée pour la reconquête de la qualité de ses eaux. La navigation de plaisance représente une économie de près d'un milliard de dollars, la pêche sportive est très courue et la mobilisation du public envers la santé de la baie est énorme. Mais l'environnement a été profondément modifié et la biodiversité reste pauvre malgré une prise de conscience sur les efforts à fournir. D'autant que les aménagements et les mesures nécessaires pour la réhabilitation de la baie sont extrêmement onéreux en main d'œuvre et en énergie.



Source : Jackson J. B. et al. 2001. *Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems*. Science, 293 : 629-638.



Les actions des êtres humains (surpêche, eutrophisation des eaux, changement climatique, modification des habitats naturels) bouleversent les réseaux des chaînes alimentaires. Les conséquences se répercutent finalement sur leurs propres populations.

La structure des écosystèmes pélagiques peut rapidement changer : d'un état dominé par les poissons à un état indésirable de mer « gélatineuse » avec des conséquences sociales, écologiques et économiques.



UNE GÉLATINE ENVAHISSANTE

QUAND UNE SEULE ESPÈCE BRISE LES SERVICES VITAUX

Sous l'eau, l'animal est fluide, transparent, gracieux. En mouvement, la multitude de ses cils réfracte la lumière donnant l'impression d'être une créature irréelle, imaginaire. Mais lorsqu'elle partage l'espace d'un mètre carré avec 7 600 de ses congénères, la méduse américaine, *Mnemiopsis leidyi*, perd très rapidement de son charme et transforme la mer en bouillie de gélatine.

A tel point que sa multiplication dans les eaux en mer Adriatique, s'est répercutée sur le tourisme, avec des fermetures de plages. Pourtant, l'animal n'est pas une « vraie » méduse. C'est un cténophore. Sans cellules urticantes, il ne présente aucun danger pour les êtres humains. En revanche, cette espèce américaine vivant dans l'océan Atlantique aux abords des côtes, est extrêmement vorace.

Arrivée dans les années 1980 en mer Noire dans les eaux de ballast d'un cargo, elle a profité de l'absence de son prédateur principal, un autre cténophore, appelé *Beroe ovata*, pour se mul-



tiplier et se gaver de larves et d'œufs de poissons. Une véritable orgie. En une seule journée, la méduse américaine ingurgite jusqu'à 10 fois son propre poids. Et lorsqu'elle n'en peut plus, que c'est définitivement trop, elle régurgite ses aliments morts. Un gâchis considérable.

Une catastrophe pour les pêcheurs de la mer Noire. Une catastrophe économique. Les pertes ont été évaluées à 146,3 millions d'euros par an. Parce que la méduse américaine mange principalement du zooplancton, proie principale des anchois et d'autres poissons de même taille, qui faute d'aliments ne se reproduisent plus. Et comme le cténophore pond à l'âge adulte près de 5 000 œufs par jour, qui se développent en une dizaine de jours, les poissons n'ont aucune chance. De 400 000 tonnes de merlan pêché en 1984, il y en avait moins de 50 000 tonnes en 1990. D'autre part, une fois le zooplancton disparu, le phytoplancton profite de l'absence de prédateurs pour se développer et créer des « blooms » asphyxiants. Toute la chaîne alimentaire marine est modifiée.

M. leidyi ne s'est pas arrêtée à la mer Noire, elle s'est installée en mer d'Azov, en mer Caspienne, en mer Égée, en Adriatique. En 2006, elle était signalée sur les côtes néerlandaises, probablement arrivée par le transport maritime. En 2007, elle était au Danemark et en mer Baltique, ainsi qu'en France, dans les étangs de Bages-Sigean en Languedoc Roussillon. Depuis, elle a colonisé la côte espagnole et israélienne, et arrivée par la Mer du Nord, atteint de nos jours la Baie de Seine jusqu'au Cotentin.

Avec des stocks de poissons déjà en baisse, dont la répartition en mer est peu à peu modifiée en raison du changement climatique, l'évolution de la répartition de la « gélatine » vorace est observée très sérieusement. D'autant qu'elle a le terrible inconvénient de colmater les filets de pêche ainsi que les filtres des systèmes de refroidissement des centrales nucléaires. En juin 2011, ce sont deux réacteurs de la centrale nucléaire de Torness en Écosse qui ont dû être stoppés pour cette raison.

Classée comme l'une des 100 espèces envahissantes ayant le plus d'impact sur les écosystèmes et l'économie à l'échelle mondiale, la méduse américaine montre combien le maintien de toute la biodiversité marine est nécessaire pour que les êtres humains puissent continuer de profiter des services qu'elle offre. Et pour éviter la rupture dramatique observée en mer Noire et ailleurs,

il vaut mieux prévenir qu'avoir à guérir. En mer, il est pratiquement impossible d'éradiquer une espèce exotique qui prolifère et qui homogénéise son milieu, comme

M. leidyi.



Pour savoir plus :

<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=106401>



DES REQUINS AUX COQUILLES SAINT-JACQUES

LES GRANDS PRÉDATEURS, DES PROTECTEURS DE LA NATURE

Les changements dans la distribution et l'abondance des prédateurs supérieurs affectent aussi la distribution et l'abondance des espèces situées à un niveau inférieur de la chaîne alimentaire.

La coquille Saint-Jacques est réputée pour sa chair et sa pêche procure une économie vitale à de nombreuses familles. Mais voilà, en Caroline du nord, aux États-Unis, les populations de coquilles Saint-Jacques se sont effondrées à la fin des années 1990. Une disparition inquiétante et dommageable pour l'économie locale. Une première approche serait de pointer du doigt les pêcheurs du précieux mollusque en les accusant d'une pêche trop importante. Une seconde consisterait à étudier scientifiquement les populations de la coquille Saint-Jacques et de comprendre la diminution drastique de leurs effectifs pour mieux les gérer. Or, ni l'une ni l'autre de ces approches ne conviennent tout à fait...

La faute revient surtout à la disparition progressive des espèces de requins subissant une importante pression de pêche. En 2007, Ransom Myers et ses collègues montraient que sur la côte est des États-Unis - de la Caroline du nord à la Floride - les effectifs du requin bouledogue avaient chuté de 99 %, ceux du requin tigre de 97 % et ceux du requin gris de 87 %. Une hécatombe ! Mal aimés, convoités pour leur chair et leurs ailerons, les requins sont avant tout des grands prédateurs au sein de l'écosystème marin. Et leur rôle consiste à manger d'autres espèces de poissons, en particulier des raies comme la raie chauve-souris. Une espèce qui a su profiter de la disparition des requins, puisque Ransom Myers a également montré que ses effectifs ont anormalement augmenté depuis 50 ans atteignant dans la baie de Chesapeake, une population de 40 millions d'individus !



© Ifremer O. Barbaroux



Certes, mais comment expliquer l'effondrement des populations de mollusques ? Tout simplement, par un effet de cascade. Les raies sont en effet, elles aussi, des prédatrices. Elles se nourrissent de coquilles Saint-Jacques, de myes communes, de clams et d'huîtres. Leur augmentation dans les eaux du littoral a tout simplement fait chuter le nombre de leurs proies. Les chercheurs redoutent même le déracinement des herbiers et la perte progressive de cet habitat jouant le rôle de nurseries pour de nombreuses espèces de poissons. Certains n'hésitent pas à penser que les changements dans la distribution et l'abondance des prédateurs supérieurs ont même des effets sur les échanges de CO_2 entre l'atmosphère et les océans puisque les petits poissons se nourrissent principalement de plancton, impliqué dans ces échanges. On peut également supposer que la disparition des mollusques aura des conséquences sur l'eutrophisation des eaux puisque ces organismes ont pour rôle de les filtrer.... L'intérêt de la préservation des requins s'inscrit donc dans un champ beaucoup plus vaste que celui de la protection des espèces. Les requins participent au fonctionnement de la biosphère dans un savant jeu d'équilibre des écosystèmes. A l'avenir, les pêcheurs de mollusques ont tout intérêt à négocier avec les pêcheurs de requins....Et les pêcheries à franchir le pas vers une compréhension du fonctionnement de leurs écosystèmes « ressources » : les océans.



Source : Myers R. A. et al. 2007. *Cascading Effects of the Loss of Apex Predatory Sharks from a Coastal Ocean*. *Science*, 315 : 1846 - 1850.



Se multiplier et s'éparpiller

La biodiversité est une source inépuisable de possibilités évolutives des espèces, des populations et des communautés. La reproduction sexuée, qui assure le brassage des gènes lors de la fusion des gamètes mâles et femelles, est une assurance de la diversité génétique. Sans système de reproduction efficace, les populations d'une espèce sont vouées à l'extinction.

La reproduction sexuée n'est efficace que si elle couplée à un mélange des populations au sein d'une espèce, un phénomène relativement peu fréquent. Chez les animaux, cela se traduit par la dispersion d'individus. Chez les végétaux, cela se traduit par la dispersion des embryons contenus dans les graines. Un processus dépendant du vent, de l'eau ou, le plus souvent, des animaux !

La diversité végétale, qui procure de multiples services écosystémiques (tout comme les animaux), est donc dépendante de la diversité animale.

BON VOYAGE

DES GRAINES ET DES FRUITS DISPERSÉS PAR UNE DIVERSITÉ D'ESPÈCES

La dispersion des propagules végétales repose sur certains animaux qui par leurs traits anatomiques, physiologiques et comportementaux la favorisent. Il existe alors un bénéfice mutuel : pour l'animal transporteur qui se nourrit de tout ou partie de la diaspore et pour la plante dont les organes de reproduction sont transportés à distance.

Toute une série de mécanismes a été inventée au cours de l'évolution pour assurer le « contrat » passé entre la plante et l'animal, vecteur de dispersion.

Certaines espèces végétales produisent des diaspores, dont certaines s'accrochent au moyen de crochets à la surface de leur « transporteur », le plus souvent des mammifères qui n'en tirent aucun avantage. Elles sont dites « exozoochores ». Quand le système repose sur le stockage de diaspores nutritives par l'animal, qui « oublie » ses caches, ces plantes sont dites « synzoochores ». L'inexploitation des graines dispersées et déposées dans un environnement favorable permet la germination





© L. Garnier



© D. Sanches



© Erutton

et la croissance de la plantule (lire l'exemple portant sur le geai et le chêne). Les plantes « endozoochores » sont des plantes à fruits : facilement accessibles et repérables par les oiseaux ou les mammifères, les fruits sont emballés dans des tissus riches en éléments nutritifs que les animaux recherchent activement. Dans les garrigues méditerranéennes, dix-neuf espèces d'oiseaux ont été identifiées comme actifs agents de dissémination de trente-huit espèces de plantes à fruits charnus. Trois d'entre elles, la fauvette à tête noire, le rouge-gorge et la fauvette mélanocéphale représentent à elles seules 87 % des individus consommant ces fruits. La disponibilité en fruits est maximale entre début septembre et décembre, période qui correspond à la période de dispersion des plantes dans la garrigue.



Pour en savoir plus :

Debussche, M. & Isenmann, P., 1992. *A Mediterranean bird disperser assemblage: composition and phenology in relation to fruit availability*. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)* 47 : 411-432.

La diaspore

Une propagule ou diaspore est l'ensemble formé par l'embryon et les parties qui l'accompagnent dans son voyage à distance de la plante mère.

La diversité du vocabulaire

Lorsque les agents de dispersion sont des fourmis, des oiseaux ou des mammifères, les plantes dispersées sont respectivement appelées myrmécochores, ornithochores, thérochores.

FAVORISER LES ABEILLES SAUVAGES

GUIDE DES PRATIQUES AGRICOLES POSITIVES POUR LES POLLINISATEURS

Les changements d'usage des terres, et en particulier l'intensification des paysages agricoles, entraînent une diminution de la quantité et de la diversité des ressources florales. En modifiant les pratiques, il est possible de favoriser un service naturel, la pollinisation, au profit des cultures.



© Oroussel

Les populations d'abeilles sauvages dépendent de la quantité et de la diversité des fleurs sauvages, qui dépendent elle-mêmes des pratiques agricoles.

Pour conserver les fleurs des champs, il faut éviter de :

- retourner les prairies permanentes au profit des parcelles cultivées
- utiliser des herbicides qui réduisent l'abondance en nectar et pollen au sein des parcelles, mais aussi sur les bords des champs
- trop intensifier la fauche ou le pâturage sur une même parcelle

Pour aider les abeilles à trouver de la nourriture, il faut :

- faucher une fois par an
- faire pâturer les prairies permanentes
- favoriser les cultures à floraison massive comme le colza et le tournesol, qui apparaissent comme des taches de ressources très profitables. Ces plantes cultivées fournissent des quantités importantes de nectar et/ou de pollen par unité de surface. Il a été montré qu'au début du printemps, la croissance des colonies de bourdons augmente avec la proportion de cultures à floraison massive dans les paysages.

D'une façon générale, il est important de souligner que les cultures entomophiles ne peuvent se substituer à la flore sauvage disséminée dans le paysage car leur floraison n'est que de courte durée, quelques semaines seulement. Elles ne profi-



tent donc qu'à une partie des espèces actives à cette période. D'autre part, des ressources florales trop attractives, telles celles offertes par certaines espèces exotiques envahissantes, peuvent compromettre la reproduction de certaines espèces végétales moins attractives.

L'action des pesticides :

Localement les effets létaux des pesticides sont importants. Les substances incriminées sont principalement des insecticides, mais des fongicides peuvent être également toxiques, notamment lorsqu'ils agissent en interaction avec des insecticides. La toxicité se manifeste différemment selon le stade de développement de l'animal et selon les fonctions vitales touchées. Les troubles peuvent être soit physiologiques soit comportementaux.

L'agriculture biologique agit-elle sur le service de la pollinisation ?

L'agriculture biologique, qui se caractérise par un usage réduit des pesticides, l'utilisation de fertilisants minéraux et par des rotations plus diversifiées qu'en agriculture conventionnelle, est favorable aux abeilles sauvages. Son effet bénéfique serait principalement lié à une quantité et une diversité des ressources florales plus importantes du fait de l'absence d'herbicides.

La menace du changement climatique

Les changements climatiques sont susceptibles d'avoir un impact négatif sur les pollinisateurs via une modification des épisodes de floraison des communautés végétales au cours des saisons. Il est probable qu'au lieu d'être bien réparties tout au long de l'année, les floraisons des différentes espèces se chevauchent et qu'on assiste à un allongement des périodes sans aucune fleur, ce qui revient à des périodes de disette alimentaire pour un grand nombre d'insectes. Cela se traduirait par l'extinction de nombreuses espèces et un effondrement du réseau de pollinisation.



D'UNE FLEUR À L'AUTRE

LA DIVERSITÉ DES PLANTES EST LIÉE À LA DIVERSITÉ DU MONDE ANIMAL

La pollinisation par les insectes est un processus écosystémique de première importance puisque 84 % des espèces végétales cultivées pour l'alimentation humaine en Europe et 65 % au niveau mondial en dépendent.

La pollinisation est la première étape de l'enchaînement des processus qui assurent la reproduction des plantes à fleurs. Cette étape correspond à la rencontre des gamètes mâle et femelle. Elle assure le transfert de pollen depuis l'anthere d'une fleur jusqu'au stigmate de cette même fleur ou d'une autre. Les deux principaux agents de pollinisation sont le vent et les animaux. Comme pour la dispersion des diaspores végétales, la pollinisation par les animaux est une interaction de type mutualiste, voire symbiotique. Les animaux visitent les fleurs pour y prélever de la nourriture (nectar, pollen) et les plantes bénéficient du transport de pollen réalisé quand l'animal butine de fleur en fleur.

Environ 70 % à 80 % des 300 000 espèces actuelles de plantes à fleur sont pollinisées par des animaux, essentiellement des insectes (hyménoptères, syrphidés, diptères floricoles, rhopalocères et quelques coléoptères comme les scarabéidés et les cérambycidés), plus rarement des vertébrés, oiseaux et chauves-souris, notamment sous les tropiques.

La diversité est une stratégie d'adaptation aux changements. C'est à elle que les espèces, toutes les espèces - microbes, plantes ou animaux - doivent leur longévité : des millions d'années, en dépit de millions d'épreuves à surmonter.

Robert Barbault



La nécessaire coopération des uns et des autres

Aucun être vivant ne sait vivre sans d'autres êtres vivants. Pour se nourrir, se reproduire ou être heureux, il faut se battre, communiquer, interagir. La symbiose est définie par l'association de deux êtres vivants qui ne peuvent se passer l'un de l'autre. Ainsi, le lichen est généralement cité comme un exemple de super-organisme résultant d'une association entre une algue et un champignon. La découverte récente des microbiomes change la donne et élargit singulièrement l'horizon : l'Être humain, comme probablement tous les autres mammifères, serait un super-organisme !

DES BACTÉRIES POUR LES SUSHIS LA FLORE INTESTINALE DES JAPONAIS

La biodiversité bactérienne permet aux êtres humains d'évoluer en relation avec leur environnement.

La flore intestinale de nombreux japonais recèle des bactéries capables de dégrader les sucres spécifiques des algues marines *Porphyra* utilisées pour cuisiner les sushis. Cette découverte montre qu'à force de consommer des algues depuis plusieurs siècles, la population japonaise a probablement ingéré les bactéries du milieu marin dont le rôle est de dégrader ces algues. Les bactéries intestinales auraient alors « transféré » les gènes spécifiques de la dégradation des *Porphyra*, y trouvant leur compte pour se multiplier.

Ces bactéries n'existent pas chez les dix-huit nord américains ayant participé à l'étude comparative, étude qui ne dit pas si la flore intestinale de ces américains recelait d'autres spécificités...



© wikipedia



Pour en savoir plus : <http://www2.cnrs.fr/presse/communiquel1850.htm>

UNE PROFONDE AMITIÉ

LE NAUTILE ET SES BACTÉRIES SYMBIOTIQUES

Au sein de chaque espèce multicellulaire vit une multitude d'organismes unicellulaires de type bactéries. Qui rend le plus de services à l'autre ?

Les nautilus sont des invertébrés marins très anciens dont les ancêtres ont peuplé les océans depuis plus de 500 millions d'années. Ils vivent sur les pentes externes des récifs coralliens situées entre 100 et 800 mètres de profondeur. La pression y est extrêmement importante et l'oxygène rare. Mais grâce à une relation unique avec des bactéries, les nautilus ont réussi à investir cette masse d'eau océanique plus profonde que deux tours Eiffel superposées. Un milieu dans lequel ils agissent à leur guise, sans effort de bas en haut pour trouver leurs partenaires et chasser leurs proies quotidiennes.

Ces bactéries en symbiose, ils les logent notamment dans leur système excréteur très spécialisé qui, comme tous les reins, cumule les fonctions de filtration, sécrétion et réabsorption. Leurs bactéries, de deux types, leur assurent une particularité extraordinaire qui n'existe pas chez leurs cousins, calmars, pieuvres ou seiches : la production d'azote gazeux, qui joue un rôle essentiel dans leur flottabilité. Elles aident en effet le nautilus à se positionner à la profondeur voulue dans l'océan. Grâce à cette association, les nautilus vivent ainsi depuis des centaines de millions d'années, à un coût énergétique très faible, dans des zones océaniques très pauvres en oxygène.



Source : Pernice, M. et al., 2007. Primary co-culture as a complementary approach to explore the diversity of bacterial associations in marine invertebrates : the example of *Nautilus macromphalus*. *Marine Biology*, 150 : 749-757.)

LE MICROBIOME HUMAIN

QUI DES BACTÉRIES OU DES CELLULES HUMAINES COMPOSENT L'ÊTRE HUMAIN ?

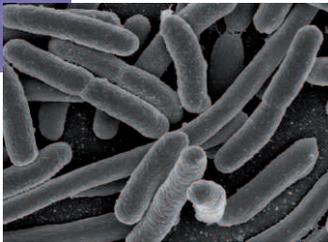
Les microorganismes ont colonisé tous les milieux, y compris les êtres humains. Leur rôle dans la flore intestinale est connu depuis longtemps mais ce n'est que depuis peu que l'on sait en identifier les espèces. Conclusion : chacun de nous arbore sa propre biodiversité.

La chasse aux microbes à l'aide de produits antibactériens « efficaces » et « pour une propreté sans faille » ferait presque oublier que le corps humain ne saurait fonctionner sans sa flopée de bactéries.

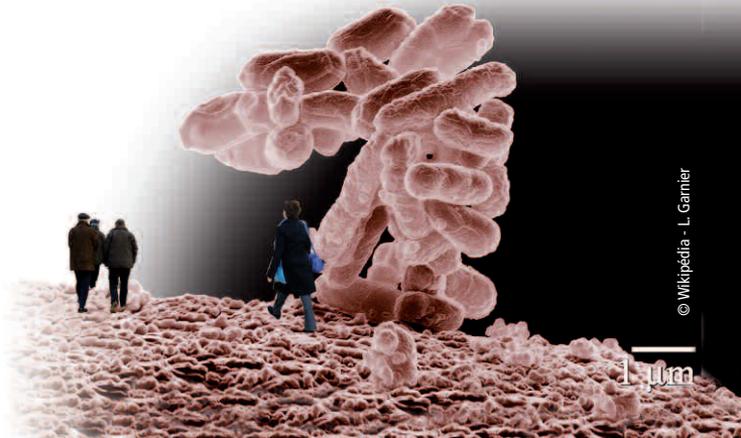
Plusieurs centaines de millions de ces microorganismes vivent en effet dans la bouche, l'appareil digestif, le nez, les parties intimes et sur la peau. Une cartographie d'ailleurs très complète a été publiée en 2010 de ce microbiome, comme l'appelle les scientifiques. Avec 10 à 100 bactéries pour une cellule humaine, l'homme est qu'un vaste champ de microorganismes. Dans l'intestin, 1 000 espèces apportent cent fois plus de gènes que ceux compris dans nos propres cellules...

L'être humain n'est donc pas « un être » mais un assemblage « d'êtres » vivant en étroite relation. Chaque assemblage est unique et possède ses propres équilibres. D'une personne à l'autre, ce ne sont pas les mêmes espèces de bactéries qui colonisent le corps... Des bactéries, qui une fois installées, y restent pour longtemps.

Alors quand, comment et pourquoi un déséquilibre intervient-il et interfère-t-il avec la santé ? La découverte du microbiome pose plus de questions qu'elle ne donne de réponses.



© Elapied



© Wikipédia - L. Garnier

l'Uta

Services du futur



SE LAISSER DES CHANCES POUR CONTINUER D'INNOVER

La destruction des habitats et la perte de la biodiversité nuisent aux capacités d'innovation des populations humaines. Or, ces sources d'innovation sont également à la base de leurs possibilités d'adaptation aux changements, comme le changement climatique.

La plus grande preuve que les êtres humains sont en constante interaction avec le tissu vivant qui les entoure est leur inventivité liée à la nature, à la manière dont ils sont capables de la prendre pour modèle. Si Léonard de Vinci s'est inspiré des ailes de chauve-souris pour ses engins volants, de nombreux scientifiques planchent aujourd'hui sur des modèles animaux pour élaborer des robots miniatures, pour comprendre les mécanismes physiologiques et faire avancer les recherches en médecine, ou pour créer de nouveaux matériaux à l'image du fil des araignées, ultra-résistant.

Cette inspiration n'est cependant plus propre à l'étude des seules espèces et de leurs particularités. Elle s'étend aussi au fonctionnement des écosystèmes. Les nouveaux modèles d'écologie industrielle comme le *Cradle to Cradle*, qui promeut une conception des produits qui sont soit biodégradables, soit recyclables, se développent également.

Mais ces innovations issues de la recherche posent également des questions de sociétés, des choix à réaliser. Faut-il valoriser certains écosystèmes ou certaines espèces par rapport à d'autres, en fonction des services qu'ils procurent, par exemple ?



LES BIOCARBURANTS DE DEMAIN

DES MICRO-ALGUES POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE

Le monde des protistes, des organismes constitués d'une seule cellule, reste encore largement méconnu. Ils seront probablement à la base de nombreuses innovations futures.

Trouver la perle rare. Parmi les 60 000 espèces de micro-algues décrites dans les mers, les océans ou les eaux douces, voire les millions supposées exister, quelle sera celle qui permettra de produire les biocarburants de demain avec une rentabilité élevée ? Outre les nouvelles technologies nécessaires à leur développement, la fabrication des biocarburants issus de micro-algues est basée sur la capacité de celles-ci à stocker des huiles, jusqu'à 30 % de leur poids sec. Malgré leur taille atteignant seulement quelques micromètres, les micro-algues, qui appartiennent à un vaste groupe d'organismes méconnus, les protistes, se reproduisent et se dupliquent très rapidement. Ce qui permet, selon les conditions de production, d'obtenir des rendements en huile, dix à trente fois supérieurs à ceux obtenus avec des cultures de graines de colza. Se cultivant de diverses manières, en bassins comme en photobioréacteurs, des appareils de culture aquatique permettant de contrôler et d'intensifier la photosynthèse naturelle, ces cultures d'un nouveau genre présentent l'avantage de ne pas entrer en compétition avec les surfaces cultivées ou forestières nécessaires à l'alimentation humaine.

C'est donc sur une biodiversité élevée de micro-organismes que se base aujourd'hui un énorme marché économique. La culture de micro-algues peut en effet permettre la production de différentes formes d'énergie selon les espèces (éthanol à partir d'amidon, hydrocarbures, hydrogène, etc.) et selon le mode de valorisation des coproduits (biogaz par fermentation de la biomasse algale, puis production de chaleur et d'électricité en cogénération).

De l'Asie aux États-Unis, en passant par l'Europe, de très nombreuses sociétés, souvent de la taille d'une start-up, mais également des pilotes industriels, misent sur la biodiversité des algues pour « percer » dans le domaine.



© Ifremer M. Gouillou



© Ifremer O. Barbaroux

LES « ANIMAUX-PLANTES » DES MODÈLES POUR L'ALIMENTATION DE DEMAIN ?

Dans la nature, des symbioses de toutes sortes permettent à deux organismes très différents de vivre ensemble et d'échanger de la matière. Chez *Elysia chlorotica*, l'animal a « volé » le matériel génétique des algues dont il se nourrit, devenant un organisme génétiquement modifié naturel.

© U. of Maine - M. Tyler
- M. Rumpho



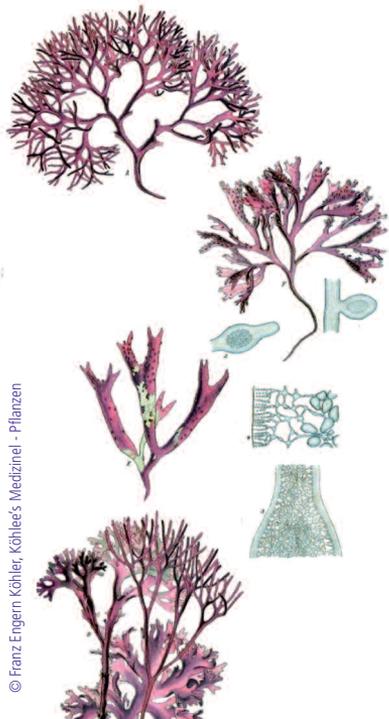
© U. of Maine - M. Tyler - M. Rumpho

La limace de mer *Elysia chlorotica* est le seul animal connu pour être capable de fonctionner comme une plante ! Vivant dans les eaux claires de la côte est des États-Unis, elle ressemble à une belle feuille verte. Les biologistes ont longtemps pensé que cela était dû à sa consommation de l'algue *Vaucheria litorea* de couleur verte. Mais l'observation minutieuse de ses tissus n'a révélé aucune trace de l'algue et l'animal semble se satisfaire des rayons du soleil, sans avoir besoin de consommer de *Vaucheria* pendant un certain temps. En revanche, comme les plantes, les tissus de la limace recèlent des chloroplastes, ces petits organites de la cellule végétale réalisant la photosynthèse grâce au pigment vert de la chlorophylle. Une énigme pour les biologistes, qui se demandent comment l'animal se débrouille pour trouver la chlorophylle, qui chez les plantes, est fabriquée à partir de l'information contenue dans les gènes du noyau des cellules. L'énigme a été résolue grâce à la biologie moléculaire. Les biologistes ont découvert que comme les plantes vertes, la limace contient les gènes du pigment dans le noyau de ses cellules. Au cours de l'évolution, l'animal a réussi à incorporer les gènes nécessaires à l'entretien de ce que l'on croyait être une surprise dans son génome. Il est devenu un animal-végétal ! On connaît d'autres « animaux-plantes », qui associent étroitement les cellules végétales et animales, comme un grand nombre de coraux. La compréhension de ces symbioses conduira-t-elle à imaginer à l'avenir de nouveaux animaux domestiques utilisant l'énergie solaire pour produire nos aliments ? Cela peut sembler futuriste mais nous incite cependant à ne pas limiter notre vision aux seules espèces « utiles » d'aujourd'hui.

DES CRÈMES GLACÉES D'UN NOUVEAU GENRE

QUAND PROTÉINES DE POISSONS ET ALGUES MARINES S'INVITENT DANS L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE

En amont de la fabrication des produits industriels existent des plantes et des animaux sauvages dont on oublie le rôle dans les écosystèmes. Chaque espèce vivante représente une potentielle découverte, utile ou non pour l'espèce humaine.



Au moins onze espèces d'algues rouges sont utilisées dans le monde pour en extraire un sucre complexe, le carraghénane, utilisé comme épaississant et gélifiant dans de nombreux produits alimentaires (crèmes glacées, soupes) et cosmétiques (dentifrices). Son intérêt industriel réside dans sa propriété à augmenter la viscosité à faible concentration. En France, l'algue la plus connue est la mousse irlandaise, *Chondrus crispus*, vivant agrippée aux rochers des côtes bretonnes. Le développement de son utilisation dans l'alimentation date des années 1950 alors que la découverte de la molécule date de 1862. Son nom d'additif alimentaire est 407. En 2008, 6 588 144 tonnes d'algues rouges ont été produites dans le monde représentant 2 548 867 milliards de dollars américains (FAO, 2008).

● Pour en savoir plus concernant *C. crispus* : <http://plozevet.hypotheses.org/5201>

Depuis la découverte des protéines antigel des poissons osseux vivant dans l'océan austral, on cherche à comprendre leur fonctionnement et leur possible utilisation, notamment en médecine (préservation des tissus pour les transplantations et les transfusions), dans l'industrie alimentaire (crèmes glacées) et dans l'agriculture (protection des cultures contre le froid). Ces protéines permettent aux organismes d'être à l'abri des effets mortels du gel en se liant aux germes des cristaux de glace dès qu'ils commencent à se former, empêchant ainsi leur développement. A la base de ces recherches, on dénombre 295 espèces de poissons osseux qui peuplent les mers antarctiques.

● Pour en savoir plus : <http://www.mnhn.fr/glecointre/docs/diffusion/LecointrePLS.pdf>

S'AFFRANCHIR DE LA NATURE

LA NOURRITURE ARTIFICIELLE EST PASSÉE DE MODE

La fourniture de produits alimentaires constitue l'un des principaux services liés à la biodiversité. Les recherches sur l'ingestion de produits variés est meilleure d'un point de vue nutritionnel.



© NASA



© A. Arraou - MAEE

La fourniture de produits alimentaires ou de matériaux divers (bois, fibres) constitue l'un des principaux services liés à la biodiversité. Dès les débuts de la chimie organique au milieu du 19^e siècle, l'idée de fabriquer des aliments synthétiques et de s'affranchir ainsi de la nature a été émise. Le chimiste français Marcellin Berthelot écrivait en 1896 « Le jour où l'énergie sera obtenue économiquement, on ne tardera guère à fabriquer des aliments de toutes pièces, avec le carbone emprunté à l'acide carbonique, avec l'hydrogène pris à l'eau, avec l'azote et l'oxygène tirés de l'atmosphère ». Il y voyait la possibilité de libérer l'homme des durs travaux des champs. Dans un ouvrage de science fiction paru en 1903, D. Halévy reprend l'idée mais y voit par contre la source d'une « dégradation rapide des mœurs due à l'oisiveté ».

Qu'en est-il aujourd'hui ? Si la synthèse chimique a pénétré le domaine des additifs alimentaires (colorants, vitamines, édulcorants), elle n'y règne pas en maître. Les colorants et arômes « naturels » y restent prisés. En ce qui concerne les aliments proprement dits, ces aliments synthétiques restent très marginaux et réservés à des cas médicaux. On s'est notamment rendu compte que les personnes nourries ainsi voyaient s'atrophier leurs organes du goût et de la digestion et que de petites molécules faciles à synthétiser comme les acides aminés et les sucres simples (glucose, fructose) n'avaient pas les mêmes propriétés nutritionnelles lorsqu'elles étaient apportées isolément ou associées au sein des macromolécules complexes constituant les aliments. Même les conquérants de l'espace ont exigé de « vrais » aliments et, en 1989, une entreprise française a été sollicitée pour élaborer un pain spécial (sans miettes) pour les cosmonautes russes.

BOUT D' FICELLE

IRREMPLAÇABLES FIBRES NATURELLES

Les fibres naturelles sont inégalables en terme de résistance et les êtres humains ont su les utiliser pour divers usages. La fibre végétale est principalement composée de cellulose, une molécule organique très abondante sur Terre.



© P. Gibellini

Dans toutes les civilisations, l'homme a exploré son environnement pour repérer des sources de fibres animales ou végétales propices à de multiples usages, habillement, construction, transport, stockage, instruments divers.

Les espèces les plus diverses ont ainsi été mobilisées et il a fallu élaborer en outre des savoir-faire souvent complexes pour extraire et utiliser ces fibres : élevage des vers à soie, rouissage du lin dans les rivières, préparation du sisal à partir des feuilles d'un agave américain ou du raphia à partir des troncs de palmier africain, art de la corderie permettant la fabrication de grosses cordes (pouvant atteindre 200 m de long et 20 cm de diamètre) à partir des petites fibres du chanvre.

Avec l'avènement des fibres synthétiques au vingtième siècle, nylon, rayonne, polyester, on pouvait penser que ces fibres naturelles allaient progressivement disparaître : on constate au contraire qu'elles continuent à être appréciées et recherchées. De 1961 à 2010, la production mondiale de coton a été multipliée par 2,5, celle de soie grège par 5, celle de laine a régressé d'environ 20 %. On observe aussi que de nouvelles fibres naturelles apparaissent, comme celles de bambou pour l'habillement, et que de nouveaux usages font appel à ces fibres : chanvre pour la fabrication de bétons « allégés », laine flockée pour l'isolation des maisons.

Ces fibres sont en outre susceptibles d'inspirer la création de nouvelles fibres synthétiques « biomimétiques » : création de fibres creuses imitant celles de la laine, étude des propriétés de la soie d'araignée, dont les propriétés de résistance restent inégalées, même par les fibres synthétiques comme le kevlar.

PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ MARINE

LES AIRES MARINES PROTÉGÉES

Le développement d'aires marines protégées à l'échelle mondiale constitue une « assurance-vie » des écosystèmes marins pour le futur. 10 % des écosystèmes types devraient être ainsi protégés à l'horizon 2020.

Face à l'érosion de la biodiversité et des services écosystémiques à l'échelle mondiale, une mobilisation générale s'est mise en place pour préserver a minima 10 % des espaces marins et des écosystèmes « types ». L'Union européenne en a fait une des ses priorités en se dotant de la directive cadre « stratégie Milieu Marin ». Avec un espace maritime au 2^{ème} rang mondial (après les États-Unis), la France s'est dotée d'une stratégie nationale d'aires marines protégées et développe la création de parcs marins. Le projet, issu du Grenelle de la Mer, est ambitieux : préserver 20 % des eaux sous juridiction nationale, y compris à l'Outre-mer. Les parcs naturels marins d'Iroise, puis de Mayotte, des estuaires picards et de la mer d'Opale, du golfe du Lion et du Bassin d'Arcachon ont vu le jour, et plusieurs projets sont encore en cours d'instruction (estuaire de la Gironde et des Pertuis charentais, golfe normand-breton, etc.). Quant à certains lagons de Nouvelle-Calédonie, source d'une exceptionnelle biodiversité, ils sont désormais classés comme patrimoine mondial à l'Unesco.



Source : <http://www2.aires-marines.fr/>

ET SI NÉCESSAIRE, ENCOURAGER LA FAUNE MARINE.....

LES RÉCIFS ARTIFICIELS

Des services écosystémiques comme les pêcheries peuvent être soutenus par des aménagements particuliers comme les récifs artificiels. Ces structures, tant qu'elles ne sont pas sources de destruction de milieux permettent le maintien, voire le développement de la ressource.

Dès l'après-guerre au Japon, l'idée germe de préserver les services de la pêche grâce aux épaves d'avions et de navires suite aux observations des pêcheurs constatant que la faune marine s'installe volontiers dans ces carcasses jonchant les fonds marins. L'idée de créer des « récifs artificiels », des zones de « cachettes » nombreuses sur un petit volume se développe rapidement. Les recherches portant sur des structures en béton se multiplient à travers les coopératives de pêcheurs. Lors de ces essais, un nouvel intérêt, et probablement le plus

© Ifremer - NC H. Lemonnier



important, est porté sur ces structures artificielles : elles protègent efficacement contre la pratique du chalutage, en permettant une pêche « écologique », un pêche réalisée à la ligne ou avec de petits filets.

Aujourd'hui, plus de 200 types de récifs différents sont déployés le long des côtes du Japon et l'on y trouve entre sept et vingt-trois espèces différentes de poissons et beaucoup d'invertébrés.

Cette technique a notamment permis de maintenir les captures par pêche. Le Japon débarque en effet la même biomasse depuis plus de 20 ans, soit 1,5 million de tonnes environ. Ainsi toutes les pêches au Japon bénéficient d'aménagements pour l'amélioration des ressources, mais il faut rappeler que ce pays est le second consommateur au monde de produits aquatiques avec une consommation moyenne de 67 kilogrammes par habitant (30 kg/hab en France). Les aménagements ont été multipliés pour atteindre plus de 12 % du plateau continental représentant près de 20 000 sites. Chaque année, 10 000 ha sont nouvellement préparés pour une future colonisation naturelle par la faune et la flore locale, et parfois repeuplés de juvéniles de jeunes ormeaux, palourdes, crabes, crevettes, coquilles Saint-Jacques, huîtres, moules, diverses espèces de poissons, dorades, turbots et soles, sérioles et même des thons. Les grands pélagiques affectionnent d'ailleurs ces zones, qui leur offrent des conditions de vie optimales et les stabilisent en dehors de grands circuits migratoires. Il apparaît cependant que le choix de l'association des espèces est déterminant sur la réussite des pêcheries issues des zones à récifs. Ces récifs doivent donc être sagement réfléchis autant sur le choix du site, et la biologie des espèces pouvant s'y développer, afin d'en dégager des effets positifs !

© G. Boeuf



CONSTRUIRE AU NATUREL

LES MANGROVES COMME DIGUES PROTECTRICES

Les mangroves sont des forêts aux multiples fonctions écologiques : fonction hydrologique par le contrôle du ruissellement des eaux et de la rétention des sédiments et des substances toxiques, fonction de protection contre les ouragans avec une stabilisation du littoral, ainsi qu'une fonction de stabilisation du microclimat.



© L. Gamiier

Et si des « super » mangroves étaient les digues de demain? Forêts tropicales entre ciel, terre et mer, les mangroves contribuent en effet à la protection des côtes et de leurs habitants contre les tempêtes. Ce rôle protecteur ressort de nombreuses observations, notamment sur les côtes de Louisiane aux États-Unis lors de l'ouragan Andrew en 1992 et sur les côtes de l'est de l'Inde, frappées par un « super cyclone » en 1999.

Ce super cyclone a tué près de 10 000 personnes, pour plus de 70 % emportées par la force du courant. Les districts les plus bas de l'état d'Orissa, le plus durement frappé, s'élèvent d'à peine quelques mètres au-dessus du niveau de la mer. Or, les vagues amenées par le cyclone ont atteint jusqu'à 5,9 mètres et inondé certains districts jusqu'à plus de 10 km à l'intérieur des terres.

Une étude minutieuse de 409 villages d'un de ces districts montre que l'existence de mangroves entre ces villages et la côte s'est traduite par un moindre nombre de victimes : trois fois plus d'habitants auraient péri en l'absence de ces forêts dont les arbres atteignent deux à trois mètres sur les côtes et une vingtaine de mètres dans les terres.

Sans doute les alertes précoces ont-elles permis de sauver davantage de vies que la présence de mangroves. Cependant, le rôle protecteur des mangroves justifie pleinement leur conservation comme systèmes d'appoint à ces alertes. Lors du super cyclone d'Orissa, comme souvent en pareil cas, beaucoup de gens, n'ont



pas suivi les avis d'évacuation faute d'abris suffisants, par crainte de pillage ou simplement par sous-estimation de la gravité de la tempête. Les mangroves ont ainsi contribué à sauver les vies de nombreuses personnes restées sur place.



Source : Das S. & Vincent JR .2009. *Mangroves protected villages and reduced death toll during Indian super cyclone*. PNAS, 106 : 7357-7360

Dans de nombreux pays, les mangroves font l'objet d'une conservation par le biais de multiples législations. Elles impliquent la conservation de l'écosystème, celle de la diversité ainsi que celle des habitats et des paysages. Le cas de la Guadeloupe est même un exemple type d'un empilement législatif au niveau de Grand-Cul-de-Sac marin : protection de la mer des Caraïbes, de la convention de Cartagène en 1986 ; réserve naturelle en 1987 ; parc national en 1989 ; réserve de biosphère en 1992 ; et enfin zone humide au titre de la Convention de RAMSAR en 1993 !



biodiversité et santé

L'environnement affecte la santé à travers la fourniture de services écosystémiques tels la purification de l'eau, la protection contre des catastrophes naturelles ou encore le nombre d'espèces permettant de réduire l'impact des parasites vecteurs de maladies humaines, la variété des vecteurs de maladies, tant virales, bactériennes que parasitaires. Ceci est particulièrement patent en milieu urbain, là où vivent aujourd'hui plus de la moitié des populations humaines.



DES ÎLOTS DE NATURE

LES ESPACES VERTS PEUVENT ÊTRE D'EXCELLENTS MODÉRATEURS DES INÉGALITÉS SOCIALES

La pratique de l'immersion dans des espaces naturels favorise bien-être et santé. Plusieurs études se sont penchées sur l'esthétique environnementale, les motivations déclenchant le goût des activités physiques « outdoor » et les bénéfices retirés de promenades dans des jardins, parcs ou zones « sauvages ».

Même s'il existe un sentiment confus de bien-être chez l'humain, associé à une « immersion dans la nature », ce sentiment est difficile à démontrer scientifiquement. Deux chercheurs britanniques se sont cependant attelés à cette tâche pendant cinq ans. Ils ont réussi à démontrer que les maladies cardiovasculaires diminuent lorsque les possibilités d'accès aux espaces verts en ville augmentent.

Cette étude portant sur 400 000 personnes et réalisée sur différents types de populations classées en fonction de leur âge et de leur accès fréquent à des espaces verts montrait, en revanche, que le cancer du poumon et les taux de suicides n'étaient pas fonction de la proximité de la verdure.

Richard Mitchell et Franck Popham ont aussi démontré le rôle des espaces verts dans la « restauration psychologique » en s'intéressant aux mortalités causées par les maladies circulatoires pour lesquelles le stress chronique et l'inactivité physique sont des facteurs déclenchant essentiels. En plus de l'activité physique bénéfique de la marche, celle-ci réalisée au milieu de la verdure et de la diversité paysagère arborée semble bien plus bénéfique d'un point de vue émotionnel, cognitif et physiologique que dans les espaces urbains.

© F. de la Mure-MAE



Pour les auteurs, l'égalité pour tous face à la santé étant essentielle, les espaces de verdure seraient un moyen de « gommer » les inégalités sociales. Notamment, en rendant accessibles des milieux naturels conservés à l'ensemble de la population. Qu'on se le dise : la gestion du stress est indissociable des « morceaux de nature » en ville.



Source : Mitchell, R. Popham, F. 2008. *Effect of exposure to natural environment on health inequalities : an observational population study*. The Lancet, 372 : 1655-1660.

LES FOURMIS ATTA LA BIODIVERSITÉ RECÈLE DES MODÈLES D'ÉTUDES

Les espèces sauvages évoluent toutes dans un environnement ingrat où parasites et pathogènes profitent de quelques brèches pour infecter et détruire leurs hôtes. La médecine évolutionniste tente de comprendre l'écologie de l'évolution pathogène afin de comprendre les mécanismes des infections bactériennes.

L'élucidation de la stratégie d'utilisation d'antibiotiques naturels par les animaux pourrait s'avérer précieuse. Alors que les foyers de résistance à la tuberculose augmentent et que des bactéries pathogènes multi-résistantes contrecarrent les effets des molécules censées les éliminer, les recherches médicales auraient tout intérêt à fouiner dans celles des écologues.

Prenez les fourmis *Atta* d'Amérique tropicale. Connues pour avoir inventé une forme d'agriculture, ces fourmis coupent des feuilles, afin de les transformer en terreau utile à la culture de champignons, dont elles se nourrissent. Les ouvrières « cultivent » également des bactéries, appelées *Pseudonocardia*, sur leur carapace car elles fabriquent des antibiotiques permettant de résister à l'infestation des nids par un autre champignon, celui-ci parasite, appelé *Escovopsis*. Grâce à ces bactéries cultivées, la fourmi élimine les « mauvais » champignons tout en gardant les « bons ».

Etonnamment, les champignons *Escovopsis* ne sont connus qu'associés aux jardins des fourmis champignonnistes. Il est probable qu'ils se propagent d'une colonie à l'autre en trouvant une petite place sur le corps des fourmis. Mais encore faudrait-il comprendre dans quelles conditions le champignon résiste aux bactéries censées les éliminer.

© C. Peeters



LA BIODIVERSITÉ RÉCOMPENSÉE

DES ÊTRES VIVANTS À LA SOURCE D'INNOVATION

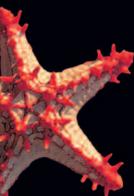
Sans la biodiversité, point de « modèles biologiques », point d'excellence scientifique, point de progrès médicaux. Le réservoir de la biodiversité, c'est l'assurance d'innovations humaines possibles.



Avec des « si », on peut refaire le monde. Mais « si la biodiversité n'avait pas servi de réservoir » aux sciences biologiques, que dirait-on aujourd'hui à ces femmes et ces hommes espérant de la fécondation *in vitro* l'espoir d'élever un enfant un jour ? Gratifié du prix Nobel de physiologie et de médecine en 2010 pour ses travaux sur la fécondation *in vitro*, Robert G. Edwards a notamment travaillé sur des cellules embryonnaires humaines. Le cheminement de ses travaux est cependant le résultat d'une longue lignée de recherches portant sur les processus de la reproduction chez les animaux. Le premier exemple de fécondation *in vitro* fut observé en 1851 chez un vers, l'*Ascaris*. Puis, en 1935, ce furent les cellules génitales (oocyte) issues de lapines qui réussirent à arriver à maturité en condition *in vitro*. Le hamster pourrait être également cité dans l'aventure....

Sans la biodiversité, point de « modèles biologiques », point d'excellence scientifique, point de progrès médicaux. Le réservoir de la biodiversité, c'est l'assurance d'innovations humaines possibles. Dans la course au prix Nobel, les animaux marins remporteraient probablement le score du plus grand nombre cité. La vie s'est en effet développée dans les mers il y a environ 3.8 milliards d'années, elle a ainsi eu tout le loisir « d'innover » dans des formes et des comportements originaux au cours de l'évolution. Près d'un tiers des embranchements du vivant n'existe qu'en milieu marin. C'est le cas des échinodermes (oursins, étoiles de mer, etc.) par exemple. Cette diversité du vivant a fait des organismes marins d'excellents réservoirs pour y identifier et en extraire des molécules d'intérêt pharmacologique ou cosmétique (plus de 5 000 aujourd'hui) et en faire des modèles d'étude particulièrement pertinents dans les recherches scientifiques. Les travaux

© Ifremer O. Dugormay



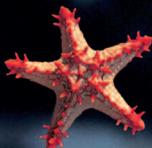


d'immunologie ont ainsi fait appel aux cnidaires, aux annélides, aux mollusques, aux échinodermes, aux tuniciers et aux poissons ; la biologie cellulaire et la cancérologie aux mollusques, aux échinodermes, aux arthropodes et aux poissons. On pourrait allonger la liste en neurobiologie ainsi qu'en physiologie animale avec les travaux de Alan Hodgkin et Andrew Huxley (prix Nobel de 1963) sur la compréhension du fonctionnement de la cellule nerveuse grâce aux calmars ou de Eric Kandel (prix Nobel en 2000) sur les mécanismes de la mémoire grâce à un mollusque gastropode, l'aplysie.... Même les prix Nobel de chimie peuvent résulter de travaux issus du vivant. C'est le cas de Kary Mullis et de Michael Smith récompensés en 1993. Kary Mullis a mis au point la technique de la PCR (*polymérase chain reaction*), mondialement répandue et dont les biotechnologies, la police scientifique et les recherches sur la molécule d'ADN ne peuvent plus se passer. Qui aurait un jour pensé que c'est une bactérie, *Thermus aquaticus*, vivant dans les sources chaudes du parc de Yellowstone aux États-Unis, qui serait à l'origine d'une révolution technique ?



Source : Bœuf, G. 2007. Océan et recherche biomédicale, Journal de la Société de Biologie, 201 : 5-12.

Pour en savoir plus : www.nobelprize.org



454 plantes médicinales sont inscrites dans la pharmacopée française. Le marché mondial des plantes médicinales est évalué à plus de 60 milliards de dollars par an et concerne des milliers d'espèces. Plus de 35 000 plantes sont utilisées dans des industries comme la pharmacie, la phytothérapie, l'herboristerie, l'hygiène...



UN NID PAS SI DOUILLET

LA PHARMACOPÉE DES MÉSANGES

L'être humain n'est pas le seul à s'aider des principes actifs contenus dans les végétaux. Beaucoup d'espèces animales utilisent la végétation comme remède à divers maux. Dans le cas de la mésange, la plante a des fonctions thérapeutiques indirectes.



Certaines espèces d'oiseaux, comme la mésange bleue, incorporent des fragments de plantes aromatiques - achillée ou lavande - dans leurs nids. Cela est surtout vérifié quand ces derniers sont infestés par des parasites qui se nourrissent du sang des poussins. C'est le cas de certaines populations corses de mésange dont les nids peuvent contenir plus de 150 larves hématophages d'une mouche (du genre *Protocalliphora*) qui se développent en ponctionnant le sang des sept à huit poussins du nid. La quantité de sang prélevé peut alors atteindre la moitié du volume sanguin total de la nichée. On s'est longtemps interrogé sur la signification de ce comportement de la femelle de mésange, surtout que chaque « bouquet » d'herbes est particulier à chaque femelle qui le complète soigneusement dès qu'on s'avise de l'enlever. On a fini par découvrir le fin mot de l'histoire. Loin d'être répulsives vis-vis des larves de la mouche, comme on l'a longtemps cru, ces plantes améliorent indirectement la croissance et la condition physiologique des oisillons par un mécanisme inattendu : ces fragments de plantes freinent considérablement le développement de colonies de bactéries pathogènes.



Source : Mennerat A., Mirleau P., Blondel J., Perret P., Lambrechts M.M. & Heeb P. 2009. Aromatic plants in nests of the blue tit *Cyanistes caeruleus* protect chicks from bacteria. *Oecologia*, 161 : 849-855.

UN MODÈLE DE RAT-TAUPE

DU MONOPOLE DE LA SOURIS AUX MODÈLES « EXOTIQUES »

En matière de recherche biomédicale, chaque espèce animale est susceptible d'être une source d'innovation.

En accord avec la célèbre affirmation du Prix Nobel français, Jacques Monod, que ce qui est vrai pour la bactérie *Escherichia coli* doit également l'être pour l'éléphant, l'effort de la recherche biomédicale s'est concentré sur le « modèle » de la souris de laboratoire. Cependant, la communauté biomédicale réalise aujourd'hui qu'elle limite ainsi sa capacité d'acquisition de connaissances.

Des travaux récents, comme par exemple chez le rat-taupe, *Heterocephalus glaber*, montrent en effet l'intérêt de l'étude de modèles plus « exotiques ». Le rat-taupe, appelé également rat glabre, n'a rien à voir avec le rat. Proche du cobaye et du porc-épic, c'est un rongeur à la peau nue et aveugle qui vit sous terre dans de vastes tunnels, en Afrique orientale. C'est semble-t-il le rongeur qui vit le plus longtemps, à savoir plus de 28 ans en captivité. Or jamais une seule tumeur cancéreuse n'a été trouvée dans une population de plus de huit cents individus. La prolifération de cellules de rat-taupe en culture s'interrompt dès que deux cellules entrent en contact. A l'opposé, le rat, qui ne vit que trois ou quatre ans, présente de fréquentes tumeurs. Comme les cellules humaines ou de souris en culture, ses cellules ne cessent de proliférer que lorsque toutes se trouvent en contact très étroit.

Un processus d'inhibition, qui n'existe ni chez la souris ni chez le rat, a donc été découvert chez le rat-taupe. Les extraordinaires mécanismes anti-cancer du rat-taupe pourraient nous aider à mettre au point de nouvelles stratégies de lutte contre le cancer.



© Ltshears - T. M. Shears



Source : Sedivy J.M. 2009. *How to learn new and interesting things from model systems based on « exotic » biological species.* PNAS, 106: 19207-19208.

AVEC ET CONTRE LES BACTÉRIES

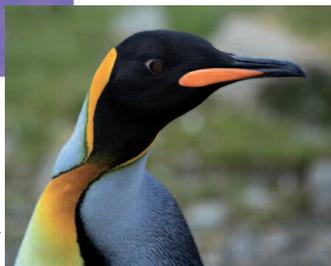
DES ANTIBIOTIQUES AUX DÉFENSINES

La production d'une nouvelle molécule ou d'un nouveau médicament est le résultat d'un choix économique prenant en compte divers coûts de fabrication. Mais lorsque les sociétés humaines évoluent, ces choix peuvent changer. Les services issus de la biodiversité peuvent alors être reconnus et exploités durablement.

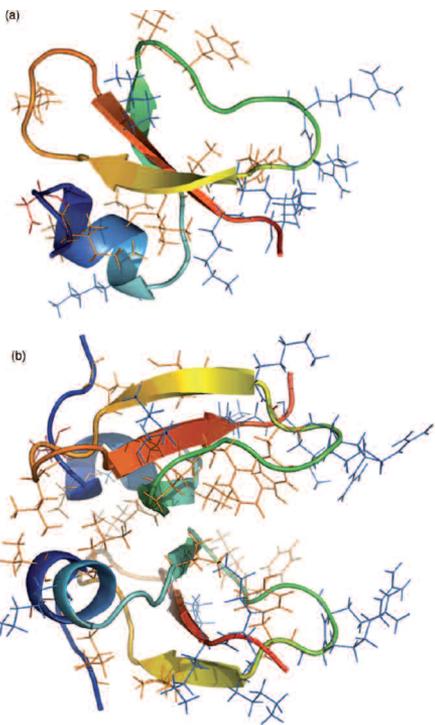
La découverte que des champignons produisent des molécules éliminant les bactéries pathogènes a constitué une étape majeure dans les progrès de la médecine. Elle a d'ailleurs largement contribué à un rallongement de l'espérance de vie humaine. L'apparition de souches bactériennes pathogènes résistantes aux antibiotiques, illustrée par le développement des maladies nosocomiales, amène à rechercher de nouvelles molécules antibactériennes. Mais on sait bien que de très nombreuses bactéries vivent en symbiose dans notre organisme, notamment pour assurer notre fonction digestive. Sa réduction est l'un des effets indésirables d'une forte antibiothérapie.

Les animaux produisent aussi des molécules antimicrobiennes: les défensines. Elles interviennent dans leur défense immunitaire innée. Ce sont des peptides, c'est-à-dire de très petites protéines. Le prix Nobel de Médecine 2011 a d'ailleurs récompensé le chercheur strasbourgeois Jules Hoffmann pour ses travaux sur les défensines d'insectes. L'action des défensines est très rapide mais les mécanismes en sont incomplètement élucidés. On sait cependant qu'ils diffèrent de ceux mis en œuvre par les antibiotiques et qu'ils rendent plus difficile l'acquisition d'une résistance par les bactéries.

Un autre intérêt biomédical des défensines est qu'au lieu de tuer les bactéries elles peuvent en contrôler la multiplication, sans forcément les détruire. Ainsi, des bactéries vivent en symbiose dans certains organes du charançon, un insecte qui se nourrit principalement de l'amidon contenu dans des grains de céréales. Ces bactéries lui sont essentielles car c'est elles qui lui permettent justement d'assimiler l'amidon. Classiquement, en



© G. Haimovitch



© A. Suresh et C. Verma

réponse à une attaque de bactéries ou d'organismes étrangers, des peptides antimicrobiens sont produits et libérés dans tout le corps de l'insecte et les éliminent. Cette réponse ne fait aucune différence entre des bactéries pathogènes ou symbiotiques. Cependant, chez le charançon, dans les tissus où sont localisées ces bactéries utiles, on trouve un peptide, la coléoptéricine, dont le rôle ne consiste pas à les tuer mais à les maintenir tout en inhibant leur division. Sans la coléoptéricine, les bactéries se multiplient et colonisent l'ensemble du corps de l'insecte.

Les défensines des animaux ont aussi d'autres particularités. Ainsi, la sphéniscine, le peptide impliqué dans la conservation d'aliments dans l'estomac de manchots, reste très efficace en milieu salin. Or on dispose d'un arsenal antibiotique limité dans le cas des infections oculaires. La sphéniscine empêche également la multiplication d'*Aspergillus fumigatus*, le champignon pathogène responsable de l'aspergillose, maladie courante chez les humains. Jusqu'à maintenant, le coût de fabrication des défensines a été jugé excessif pour en faire des médicaments, mais toutes leurs qualités pourraient un jour l'emporter sur cet inconvénient...

● Sources : Thouzeau C, Le Maho Y, Froget G, Sabatier L, Le Bohec C, Hoffmann JA & Bulet P., 2003. *Spheniscins, avian beta-defensins in preserved stomach contents of the king penguin, Aptenodytes patagonicus*. J Biol Chem. 278(51) : 51053-8.

Login FH, Balmand S, Vallier A & Vincent-Monégat C., Vigneron A, Weiss-Gayet M., Rochat D. & Heddi A., 2011. *Antimicrobial peptides keep insect endosymbionts under control*. Science, 334 : 362-365.

LA BIOMANIPULATION

LUTTER BIOLOGIQUEMENT CONTRE L'EUTROPHISATION DES EAUX DOUCES

Dans certains cas d'eutrophisation de lacs et de rivières, il est possible de freiner la multiplication des organismes toxiques (cyanobactéries, protozoaires), voire d'éliminer ces organismes, en modifiant la structure des communautés en place.



© L. Garnier



© wikipedia

L'enrichissement des lacs et des rivières, essentiellement en phosphore, est à l'origine du phénomène d'eutrophisation des eaux douces. Ce phénomène s'accompagne d'une intensification de l'activité biologique du milieu et d'un changement radical de la composition et de la structure des chaînes trophiques aquatiques. Les populations de cyanobactéries toxiques augmentent de manière explosive, entraînant la mort de nombreux organismes aquatiques et, à la limite, l'arrêt de toute activité humaine en lien avec l'eau et les rives.

Diverses expériences de « biomanipulation » ont permis d'enrayer ce processus. Notamment en Suède, les gestionnaires du lac Finjasjön ont modifié la structure de la communauté des organismes de ce lac en introduisant des poissons piscivores. Ces derniers ont favorisé la diminution des poissons se nourrissant du zooplancton. En conséquence, le zooplancton s'est multiplié en consommant les cyanobactéries toxiques du phytoplancton.

La condition du succès de telles expériences grandeur nature tient toutefois en une connaissance précise du fonctionnement du milieu en cause, toute introduction ou restructuration des populations pouvant avoir des conséquences difficilement prévisibles sur la dynamique des écosystèmes.



Source : Smith V.H., Joye S.B. Howard R.W. 2006. *Eutrophication of freshwater and marine ecosystems*. *Limnology and Oceanography* 51: 351-355.

Au lieu de vouloir bâtir, détruire pour reconstruire ou transformer des milieux naturels, il peut être plus simple de compter sur les forces en présence, la vie animale et végétale locale, pour gérer ces milieux.



© LW&Z Flanders

Depuis un siècle, l'estuaire de l'Escaut, situé au nord de la Belgique et au sud des Pays-Bas, a subi de nombreuses opérations de dragage, de rectification du cours du fleuve avec consolidation des berges, etc. Suite à l'élévation du niveau de la mer du Nord, ces activités ont provoqué une série d'impacts défavorables : réduction des zones intertidales, érosion accrue des marais salés, affaissement des polders, détérioration de la qualité des eaux, perte de biodiversité, augmentation de la charge en azote et fréquence accrue des inondations.

Plutôt que de recourir à des travaux très coûteux de génie civil, il a été décidé, sur la base d'essais pilotes et d'études du bilan économique, de renforcer et d'optimiser les services écosystémiques par la création d'habitats (vasières, marais, etc.), afin d'atteindre les objectifs concrets retenus, à savoir :

- la préservation des populations de certaines espèces,
- la régénération par les marais du silicium nécessaire aux diatomées,
- la limitation de la charge en nutriments déversés en mer du Nord,
- une capacité de stockage de l'eau du fleuve suffisante pour empêcher les inondations des zones habitées.
- une résilience suffisante à l'impact des activités humaines (navigation, récréation, agriculture,...).

La réalisation du projet s'étend sur une période de 15 ans. Elle implique la création de 1 300 hectares supplémentaires de marais, 500 hectares de vasières, 1 800 hectares pour le contrôle des inondations et 4 000 hectares de zones humides non soumises à la marée.

Source : Patrick Meire et al. 2006. *Ecosystem services : a key element in protecting biodiversity of wetlands, rivers and estuaries in The Millenium Ecosystem Assessment : Implications for Belgium : (the Royal Academies of Sciences and the Arts of Belgium)*. Pages 41-56.

UNE VARIÉTÉ DE PLANTES EN « OR » DU VERT SUR LES MINES

Les plantes, que l'on nomme hyperaccumulatrices de métaux, concentrent dans leurs tissus des quantités considérables d'éléments métalliques. Certaines de ces espèces poussent sur des crassiers, déblais miniers ou résidus d'exploitation des mines, principalement de zinc.



© S. Beucler



© Bananalfo

Certaines plantes ont l'originalité de se développer sur des sols riches en métaux lourds, qu'ils soient naturels ou artificiels, comme les déblais miniers. La première indication d'une telle propriété a été faite par le botaniste florentin Andréa Cesalpino, qui mentionna en 1583 dans son ouvrage « De Plantis Libri » la présence d'une espèce particulière sur les sols riches en métaux de la haute vallée du Tibre en Toscane. Cette espèce ne sera ensuite décrite qu'en 1814 sous le nom d'*Alyssum bertolonii*, l'Alysson de Bertoloni, dont le caractère hyperaccumulateur de nickel sera attesté en 1948.

Ces plantes, que l'on nomme hyperaccumulatrices de métaux, concentrent en effet dans leurs tissus des quantités considérables d'éléments métalliques. Suite à la découverte de l'Alysson de Bertoloni, de nombreuses recherches ont suivi. Comme sur le Tabouret bleuâtre - *Thlaspi caerulescens* -, petite plante montagnarde qui peut accumuler entre 1 à 3 % de nickel et de zinc et 0,3 % de cadmium dans ses parties aériennes. Les fougères *Pteris vittata* et *Pteris cretica* ont, elles, été reconnues comme accumulatrices de l'arsenic.

En Nouvelle-Calédonie, de nombreuses espèces endémiques se développent spécifiquement sur des sols magmatiques très pauvres en silice et y concentrent les métaux du sol. Ainsi l'arbuste *Psychotria douarrei* concentre 3 % de nickel. Le record est atteint par *Sebertia acuminata*, dont la sève brute contient plus de 20 % de nickel et présente une couleur bleutée caractéristique.

A Cuba, où les affleurements de roches ultramafiques sont également importants, 54 espèces ont été identifiées et présentent, sur ces substrats, des concentrations en nickel supérieures à 1 %. Enfin, en République Démocratique du Congo, plus d'une vingtaine d'espèces hyperaccumulatrices de cuivre ont été recensées, relevant principalement des familles des Lamiacées et des Scrophulariacées.

Certaines de ces espèces se retrouvent désormais sur des crassiers, déblais miniers ou résidus d'exploitation des mines, principalement de zinc. C'est le cas dans le nord de la France et en Belgique.

DES PLANTES POUR CONTRE LES POLLUTIONS

LA PHYTOREMÉDIATION

Les plantes, qualifiées d'hyperaccumulatrices de métaux ou métallobytes, sont utilisées pour la décontamination des sols pollués par les métaux. Cette technique est appelée phytoremédiation.



© F. Mrugala

A l'heure actuelle, plus de 400 espèces de plantes tolérantes et accumulatrices de métaux lourds sont recensées, mais il en existe probablement davantage et elles pourraient se révéler utiles à l'avenir. Les principaux métaux accumulés sont le nickel, le zinc, le cadmium, le cuivre, le plomb, le cobalt, l'arsenic, l'aluminium, le sélénium et le thallium.

Dans un premier temps, ces espèces ont été utilisées pour révéler des teneurs élevées du sol en certains métaux lourds.

Plus récemment, ces plantes, qualifiées d'hyperaccumulatrices de métaux ou métallobytes, ont été utilisées pour la décontamination des sols pollués par les métaux. Cette technique est appelée phytoremédiation.

Des résultats concluants ont été obtenus avec *Cardaminopsis halleri* pour le zinc et le cadmium, avec *Thlaspi caerulescens* pour le cadmium, avec *Pteris vittata* pour l'arsenic, ainsi qu'avec *Alyssum murale* pour le nickel. En Chine, le chercheur Wu et ses collègues ont montré que du maïs cultivé en compagnie de la plante hyperaccumulatrice, *Sedum alfredii*, réduit les teneurs en cadmium du sol. Cadmium apporté par des eaux polluées des mines situées non loin de là.

Toutefois, sur des sols fortement contaminés en zinc, la dépollution par la seule culture de plantes accumulatrices comme l'arabette de Haller, *Arabidopsis halleri*, apparaît illusoire, du fait des concentrations très élevées en métaux lourds dans le sol.

Dans certains cas, les productions métalliques peuvent être valorisées après récolte et incinération pour récupérer les métaux accumulés dans les cendres. On parle alors de « phytomining ». Des expérimentations en Toscane, sur des sols ultramafiques naturellement riches en nickel, ont ainsi permis d'obtenir par la culture d'*Alyssum bertolonii* des rendements allant jusqu'à 72 kg de Ni/ha.



Pour en savoir plus : Laboratoire sols & Environnement, UMR 1120 INPL/INRA : <http://www.lse.inpl-nancy.fr/>

Choisir

Plusieurs études mêlant la sociologie et l'économie ont montré que les usagers s'engagent plus facilement dans la gestion des ressources qu'ils utilisent dans leur proche écosystème (forêt, océan) lorsqu'ils possèdent, en retour, un droit de récolte. Ce système entretient une auto-surveillance des ressources prélevées par la population locale.



CONFIANCE ET COOPÉRATION

DES SERVICES DE PRÉLÈVEMENT MIEUX RÉGULÉS

Pour gérer les ressources naturelles (foresterie, pêche), rien ne vaut la coopération de la population locale.



Les chercheurs Ashwini Chhatre et Arun Agrawal ont étudié 80 forêts de 10 pays tropicaux pour en examiner le rôle en tant que réservoir de carbone puisé et leurs contributions à la subsistance des populations. Il s'avère que les plus grandes forêts sont plus efficaces pour réaliser les deux à la fois et qu'elles le sont d'autant mieux lorsque les communautés locales s'ont incitées à s'impliquer de façon autonome dans la gestion de la forêt. Ils montrent également que l'appartenance de certaines forêts aux États est souvent à l'origine d'une surexploitation due au sentiment d'insécurité et de contestation des populations locales. Par exemple, les forêts où l'on vient prélever du bois de chauffage ont une probabilité de 60 % d'être régénérées si elles sont auto-régulées localement et de 20 % seulement en cas contraire.



Source : Chhatre, A. & A. Agrawal. 2009. *Synergies and Trade-offs between Carbon Storage and Livelihood Benefits from Forest Commons*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106 : 17667-17670.

LA MONTAGNE SAINTE-VICTOIRE

QUEL PAYSAGE VEUT-ON ?

La biodiversité modèle les paysages qui nous émeuvent. A la base de nombreuses œuvres d'art, les paysages doivent-ils rester immuables en tant que services culturels de la biodiversité ? La question est de savoir qui doit s'exprimer sur ces questions de conservation.



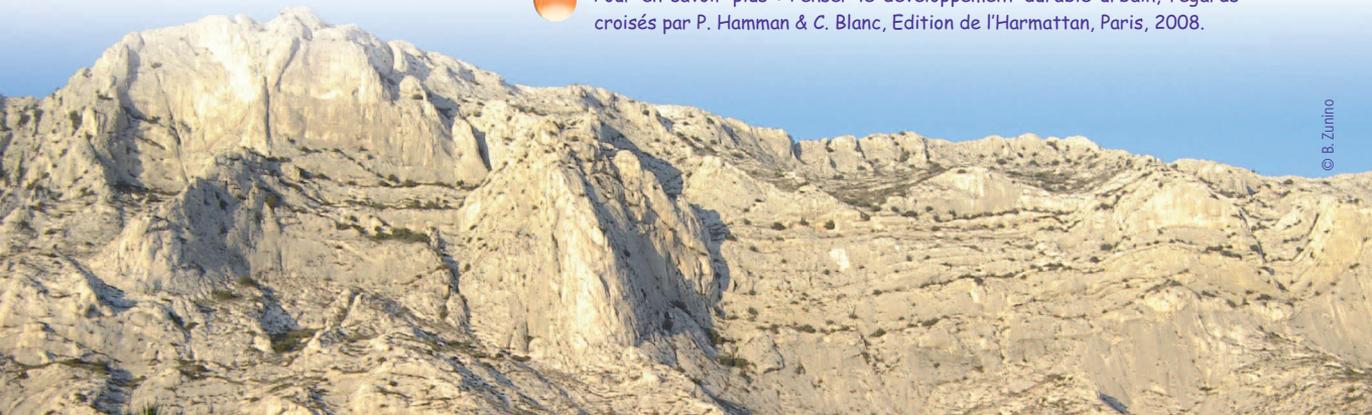
© The York Project

De nombreux paysages remarquables ont inspiré les peintres, en particulier les impressionnistes : forêt de Fontainebleau, bords de Seine, Belle-Ile, etc. La montagne Sainte-Victoire, à l'est d'Aix-en-Provence, et ses falaises blanches immortalisées par le peintre Cézanne en est l'un des exemples les plus célèbres. Cependant, ces paysages évoluent, du fait des actions humaines ou des évolutions climatiques. Au vingtième siècle, la forêt s'est développée sur les pentes de la Sainte-Victoire, modifiant sensiblement le paysage contemplé par Cézanne. Un important incendie a ravagé ces forêts en 1989, permettant de retrouver la « minéralité » de ce paysage.

Faut-il replanter ces forêts ? Faut-il intervenir, comme sur des monuments historiques, pour conserver ces paysages à l'image du tableau qu'ils ont inspiré ? Faut-il au contraire « laisser faire la nature », sachant que ces paysages témoignent souvent de l'action de l'homme et que leur évolution sera de fait fortement influencée par l'homme, à travers en particulier les changements climatiques ? Et, surtout, qui doit en décider ?



Pour en savoir plus : Penser le développement durable urbain, regards croisés par P. Hamman & C. Blanc, Edition de l'Harmattan, Paris, 2008.



RE-TROUVER LA NATURE

MARIER LA BIODIVERSITÉ À LA PRÉVENTION DES RISQUES, AU TOURISME ET LA MISE EN VALEUR ÉCONOMIQUE DU SOL

Les humains peuvent prendre soin de la qualité de leur vie et de la nature en même temps. Ils apprennent à marier les services culturels avec ceux de régulation et de prélèvement.

Comme dans un jeu de cartes très bien battues, l'eau, les plantes, les herbivores, les paysages, l'intérêt économique et touristique, etc. ont été intimement mélangés dans ce projet situé dans la petite région du Gelderland, à la frontière des Pays-Bas et de l'Allemagne. C'est là que, le long de la vallée du Rhin, l'association du WWF associée au service national des forêts néerlandais recrée patiemment un couloir écologique couvrant actuellement plus de 3 000 hectares. Le but de ce projet est pluriel : rendre au fleuve l'espace de son lit majeur et en même temps limiter les risques d'inondation, tout en restaurant un cours d'eau plus naturel et en développant une activité de pâturage extensif pour de grands herbivores, des vaches rustiques Galloways et des poneys Koniks.

Pratiquement, les digues d'été (le long du lit mineur) ont été détruites ou abaissées pour ne conserver que les digues d'hiver (à la limite du lit majeur). Dans ces limites, les terres agricoles sont rachetées à leurs propriétaires et mises à disposition de quelques exploitants d'argile. Ceux-ci, en suivant un cahier des charges précis, enlèvent sans rien détruire les sédiments de limon qui, de siècle en siècle, ont recouvert la couche originale de sable.

Dans ce projet, le développement de la nature, le « Natuurontwikkeling », n'est pas basé sur des listes d'espèces et d'habitats à protéger, mais sur le plan cadastral et des cartes hydrologiques anciennes. Les terrains soustraits à l'agriculture ne font l'objet d'aucune gestion spécifique, à l'exception du pâturage des troupeaux rustiques. Et les visiteurs peuvent aller et venir comme bon leur semble, ils ne s'en privent d'ailleurs pas. Trente



© T. Teunissen - ARK



© T. Teunissen - ARK



nouveaux emplois ont été créés pour proposer une petite structure d'accueil. Un bac traverse le fleuve et les cyclistes sont nombreux à circuler sur les digues d'hiver. Les marcheurs, quant à eux, suivent les chemins créés par les animaux.

L'exemple de ce projet est plus parlant que de longues interrogations théoriques ou philosophiques : s'agit-il-là d'une nature plus naturelle ou plus humaine ? Point n'est besoin de réponse à cette question. Deux risques sont en revanche combattus simultanément : celui d'une perte de biodiversité liée à l'industrialisation de l'agriculture et la menace d'inondations toujours plus pressante en raison du changement climatique. Les humains ont élaboré leur projet et programmé l'enlèvement des sédiments limoneux. Mais le fleuve fera le reste du travail, en divaguant à sa guise dans l'espace qui lui est rendu entre les digues d'hiver. Un troupeau de bétail rustique gère l'espace et les espèces naturelles recolonisent les sites récemment reconnectés en réseau le long du fleuve. Et dans ce paysage en plein développement, les humains retrouvent une mémoire de l'évolution naturelle, un site d'observation des espèces, mais aussi un lieu d'agrément. Une pensée binaire nature - société n'a plus ici aucun sens. Les humains prennent - un peu - soin d'eux-mêmes, tout en laissant la nature évoluer d'une façon - relativement - imprévisible.



Pour en savoir plus : Prendre soin de la nature ordinaire, 2003. C. Mougénot. Ed. Maison des Sciences de l'Homme

DES PIÈCES POUR LA NATURE

MESURER LA VALEUR ÉCONOMIQUE DES SERVICES ÉCOLOGIQUES ?

Avec des espaces naturels et des ressources qui s'épuisent toujours un peu plus, les économistes travaillent à mesurer la valeur économique des services écologiques pour faire prendre conscience de la nécessité de les préserver.

Depuis une vingtaine d'années, des économistes ont cherché à mesurer la valeur économique des services écologiques, soit à des niveaux locaux (une forêt, un plan d'eau) soit à des niveaux plus globaux, un pays, voire l'ensemble de la planète.

Ils ont développé pour cela diverses méthodes, que l'on peut regrouper en deux grands ensembles, les évaluations par les prix et les évaluations par les coûts.

Les évaluations par les prix

Les évaluations par les prix s'appuient sur les dépenses engagées par des consommateurs pour bénéficier du service considéré. Le cas le plus simple est celui où ce service fait effectivement l'objet d'échanges marchands. Il suffit alors de relever les prix pratiqués lors de ces transactions (on parle de « prix observés »). On a pu ainsi chiffrer à environ 15 €/ha/an la valeur moyenne des produits de cueillette des forêts françaises (petits fruits, champignons, miel, etc.).

Lorsque le service est apparemment gratuit, on peut se fonder sur les dépenses réalisées pour y accéder : dépenses de transport, d'hébergement, de matériels. On parle alors de prix « révélés ». Toujours pour la forêt française, on a ainsi chiffré la valeur récréative des promenades en forêt à environ 200 €/ha/an. On a également montré que les prix révélés des produits de la pêche sportive ou de la chasse représentaient souvent au moins dix fois la valeur marchande du poisson ou du gibier ainsi collecté.

Enfin, en l'absence de dépenses réelles, on peut interroger les personnes sur leur « consentement à payer », c'est-à-dire sur les sommes qu'elles seraient prêtes à déboursier pour bénéficier de ce service, voire pour le simple fait même qu'il perdure, même si elles n'en bénéficient pas (ce qu'on appelle les « valeurs de



non-usage »). Ces évaluations des « prix déclarés » sont souvent utilisées pour apprécier l'intérêt des personnes interrogées pour la préservation d'espèces remarquables et menacées.

Les évaluations par les coûts

Les évaluations par les coûts se fondent sur les sommes qu'il faudrait dépenser pour restaurer un service s'il était dégradé ou pour le remplacer par un service similaire. On peut ainsi calculer la valeur d'une eau de qualité à partir du coût du traitement d'une eau brute dont il faut éliminer les nitrates ou les produits phytosanitaires. On en déduit par exemple que ce service représente, pour une forêt, une valeur voisine de celle de la production de bois.

Selon le même principe, on peut évaluer le rôle protecteur des forêts de montagne contre l'érosion ou les inondations par les coûts de mise en place d'ouvrages artificiels ou par les coûts des dommages liés à ces événements dans les zones déforestées. On peut aussi évaluer le rôle des forêts dans la fixation et le stockage de gaz carbonique par les coûts de méthodes alternatives de stockage de ce gaz, comme le stockage sous pression dans le sous-sol.

De manière générale, on constate que la valeur totale des services d'un écosystème donné représente souvent cinq à dix fois celle des seuls services faisant effectivement l'objet d'échanges marchands : l'économie réelle ne prend donc en compte que la « partie visible de l'iceberg ».



Source : Chevassus-au-louis B., Salles J.M., Pujol J.L. 2009. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes - Contribution à la décision publique. Rapport du Centre d'analyse stratégique. La Documentation française, coll. Rapports et documents, n° 18, Paris.

Téléchargeable sur
<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/094000203/index.shtml>

L'ÉCREVISSE DE LOUISIANE

IMPACT D'UNE ESPÈCE EXOTIQUE ENVAHISSANTE SUR LES SERVICES FOURNIS PAR LES ÉCOSYSTÈMES.

Si les espèces exotiques envahissantes ont généralement des impacts négatifs sur la faune et la flore sauvage indigène, que faire lorsque leur établissement dans une région favorise une certaine biodiversité, voire même une économie locale ? Qui doit décider ?



Il existe en France trois espèces autochtones d'écrevisses, l'écrevisse à pattes blanches, *Austropotamobius pallipes*, l'écrevisse à pattes rouges, *Astacus astacus* et l'écrevisse des torrents *Austropotamobius torrentium*. A ces espèces, s'en ajoutent trois autres, d'origine américaine, introduites en Europe au cours des dernières décennies : l'écrevisse de Louisiane, *Procambarus clarkii*, l'écrevisse de Californie, *Pacifastacus leniusculus* et l'écrevisse américaine, *Orconectes limosus*.

L'écrevisse de Louisiane est la plus répandue. Elle a envahi de nombreuses rivières et plans d'eau d'Europe, même passablement pollués. Il s'agit d'un très beau crustacé d'environ 20 centimètres de long aux pinces longues et puissantes pesant entre 35 et 50 grammes. Très agressive, elle concurrence et élimine les espèces européennes lorsqu'elle entre en contact avec elles. Par ailleurs, elle se multiplie très vite en pondant 700 œufs deux fois dans l'année.

En Camargue, l'écrevisse de Louisiane a colonisé la plupart des marais d'eau douce et les canaux. Au profit de nombreuses espèces de poissons et d'oiseaux, qui s'en régaleront, notamment des hérons, dont les neuf espèces européennes se reproduisent désormais de façon florissante dans la région. On a même montré que le régime alimentaire du butor étoilé, espèce rare et menacée, est composé à 80 % de cette écrevisse. D'où la satisfaction émerveillée des ornithologues, comme d'ailleurs celle des pêcheurs de poissons à la chair délicate. Pourtant, l'écrevisse elle-même se nourrit de nombreuses larves de batraciens et d'insectes aquatiques, tels que les libellules et coléoptères aquatiques, dont les populations s'effondrent. Bien que



© J. Blondel



© J. Blondel



les preuves indiscutables des méfaits de cette écrevisse soient encore à démontrer, on observe une baisse des libellules dans le régime alimentaire des guêpiers, autres oiseaux de grande valeur patrimoniale. Il en va de même pour les batraciens et tortues d'eau douce, les cistudes, qui accusent, un déclin sévère. De surcroît l'écrevisse américaine est porteuse d'un champignon, *Aphanomyces astaci*, responsable de la « peste des écrevisses » qui menace sérieusement les rares populations d'écrevisses autochtones.

Si, l'écrevisse a, aux États-Unis, une certaine importance dans le maintien, l'aération et l'écoulement de l'eau dans les marais de la Louisiane, en creusant des galeries de près de deux mètres de long et en se nourrissant de plantes aquatiques, ce comportement endommage sérieusement digues, talus et voies d'irrigation en Europe ainsi que dans certains pays subtropicaux (Égypte, Kenya). Ces dommages sont générateurs de coûts économiques importants.

Si le malheur des uns fait parfois le bonheur des autres, le résultat final est un déséquilibre de ces systèmes fragiles dont on ne peut actuellement prédire les conséquences à long terme mais dont personne ne devrait se réjouir. Sauf peut-être quelques entrepreneurs, qui ont mis à profit la profusion de l'écrevisse de Louisiane pour la cuisiner en bisque, qu'ils commercialisent. Une activité rentable et utile puisqu'il n'existe actuellement aucun autre moyen de limiter les populations de cette espèce.



DES MOUTONS, DES CRUSTACÉS ET DU CHIENDENT

LES SERVICES FOURNIS DE LA BIODIVERSITÉ DANS UN ÉCOSYSTÈME EN ÉVOLUTION

Les marais salés naturels jouent un rôle central dans les réseaux trophiques côtiers. Ces marais évoluent dans l'espace et le temps en fonction de la dynamique sédimentaire du secteur côtier et de la dynamique végétale, qui est fortement influencée par l'utilisation humaine des terres. Des différents habitats créés découlent des services rendus de la biodiversité distincts.

A : Marais salés naturels

Dans les marais salés naturels, l'essentiel de la production primaire est transformé sur place. Le reste est exporté vers le milieu marin sous forme de matière organique dissoute et particulaire. Transportées par les chenaux naturels des vasières, ces particules favorisent la multiplication de diatomées planctoniques (de minuscules êtres vivants photosynthétiques) nourrissant de nombreuses espèces de mollusques, de vers polychètes, de crustacés, etc. Les poissons, comme les mulets, profitent de la marée haute pour venir se nourrir de diatomées dans les chenaux. Quant aux juvéniles de bars, ils se nourrissent d'*Orchestia*, crustacés présents sous les peuplements des plantes appelées obione.

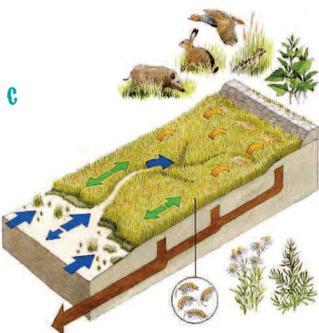
Services rendus des marais salés : enrichissement des vasières ; production des diatomées nourrissant les huîtres et les moules des conchyliculteurs et tous les mollusques lamelibranches sauvages consommés par les oiseaux limicoles ; nurricerie d'espèces de poissons (sole, bar, mullet) pour la pêche.

B : Marais salés pâturés

Le pâturage dans les marais salés fait chuter la production primaire tout en favorisant l'herbe spécifique des bas marais, la puccinellie. Cela entraîne une régression des populations d'*Orchestia* et des juvéniles de bars.

Services rendus des marais salés : production de moutons de pré salé pour les éleveurs ; aires de repos et d'alimentation des Bernaches cravant, espèce protégée ; aires de repos et d'alimentation de canards siffleurs, espèce d'intérêt pour les chasseurs.





C : Marais salés pièges à nitrates

Depuis plus de 10 ans, le chiendent maritime, espèce végétale de la partie supérieure des hauts marais, profite de l'augmentation des teneurs en nitrates dans l'eau des trois rivières de la baie du Mont Saint-Michel. Ces nitrates favorisent la synthèse de substances permettant au chiendent de résister au stress halin et de progresser vers les moyens et bas marais à une vitesse exceptionnelle : plus de 100 ha par an entre 2002 et 2007. Malgré une production primaire accrue, la structure de la végétation ne permet pas aux poissons de venir se nourrir d'*Orchestia*, en quantité plus faible. Les sédiments ne sont plus exportés en mer et l'on observe une élévation du niveau du sol, limitant le taux d'inondation par les marées des zones gagnées par le chiendent.

Services rendus des marais salés : constitution de prairies où se reproduisent les cailles des blés et où se réfugient les perdrix, lièvres et sangliers ; piégeage des nitrates. Mais la dénitrification observée grâce au chiendent ne compense pas les services perdus par les marais naturels ou pâturés. C'est pourquoi les bassins versants et les rivières doivent retrouver leur bon état écologique en 2015.

 Sources : Valéry L. et al. 2009, *Invasive species can also be native*. Trends in Ecology and Evolution, 24(11) : 585.
Histoire et écologie de la baie du Mont-Saint-Michel, J.C. Lefevre, Eds. Ouest-France, 2010.

JEANNOT LAPIN UNE « PESTE » ?

Certaines espèces peuvent connaître des modalités d'existence différentes. Très utiles ici, elles se révèlent là-bas comme de véritables fléaux. Leurs manifestations peuvent être changeantes dans le temps et parfois même, en un seul lieu, elles sont appréciées ou totalement décriées.

Le lapin européen, *Oryctolagus cuniculus*, est typiquement un « pire ami ». Durant tout le Moyen Âge, il a été déplacé par les nobles et les moines et élevé par eux de manière semi-domestique. A la fin du 18^e siècle, le déclin de ces pratiques permet à l'animal de se faufiler dans des lieux où il n'aurait jamais dû être, là où la modernisation de l'agriculture vient juste de remodeler les paysages. Déforestation, remembrement, bornage des terres au moyen de haies, le lapin trouve dans cette mosaïque naturelle des milieux enchanteurs qu'il exploite de son mieux. Mais son succès écologique se retourne contre lui. Car il se nourrit de toutes les plantes, s'attaquant aux jeunes pousses et transformant les prairies en landes pierreuses (le lapin ne fait qu'un seul repas, mais qui dure toute la journée !). Et s'il reste très apprécié des chasseurs, les agriculteurs le considèrent comme une véritable peste.

Entre-temps, il a aussi été transporté comme gibier en Australie et en Nouvelle-Zélande et comme un animal d'élevage au Chili. Mais toujours il se propage là où l'environnement le permet. En raison de sa prolificité légendaire conjuguée à sa gourmandise, ici et là-bas, c'est le même fiasco.

Le lapin européen n'a pas rendu partout des services, raison pour laquelle les humains se sont efforcés de le combattre par tous les moyens - barrières, piégeage, empoisonnement, destruction de ses habitats - mais sans succès véritable. Le déplacement ou le renforcement de ses prédateurs ne s'avère guère plus efficace. Et l'introduction volontaire du virus de la myxomatose n'a produit des effets remarquables qu'un court moment. Aujourd'hui, ceux qui considèrent le lapin comme une peste voient dans la lutte biotechnologique un espoir nouveau pour en venir à bout.



© N. Adamson



OU UN PATRIMOINE ?

Les populations sauvages de lapin sont en déclin, pourtant l'animal contribue à la gestion de certains écosystèmes aussi bien dans les régions méditerranéennes dont il est originaire que dans d'autres régions où il a été importé.



© J. Nichols

Lryctolagus cuniculus a été transporté sur tous les continents, à l'exception de l'Antarctique. Il est pourtant un phénomène dont on parle peu. Les populations de lapins connaissent un avenir inégal en Europe. Encore ravageuses en certains lieux, elles sont largement en déclin dans l'ouest et le sud de la France, en Espagne, au Portugal, ainsi qu'en Grande-Bretagne et en Suisse. Partout le grignotage des campagnes les affaiblit.

Jeannot semble tirer sa révérence, et c'est alors qu'on réalise qu'il rendait bien des services. Le lapin gratte, creuse, broute, pâture. Pour ce motif, il est devenu ennemi public numéro un dans plusieurs régions du monde. En revanche, il n'est plus douteux aujourd'hui qu'il participe à la fabrication d'une mosaïque de plantes rases, à la fertilité des sols ou à la dispersion des graines. Il contribue donc largement à la gestion de certains écosystèmes dans les régions méditerranéennes dont il est originaire, jusqu'au nord de l'Europe où il a été amené. Proie favorite d'un très grand nombre de prédateurs indigènes et en voie d'extinction comme le lynx pardelle, le lapin européen joue à ce titre un rôle indispensable. Et il manque aussi à tous ceux qui avaient fait de sa chasse un plaisir ordinaire, une petite fête néanmoins.

Les naturalistes et les chasseurs sont donc unanimes pour souhaiter le retour du lapin. Mais la chose semble plus facile à dire qu'à faire et les chercheurs s'y attellent, mais sans succès. Aujourd'hui, il est ironique de penser que les humains seraient incapables de maintenir certaines espèces dans les écosystèmes dont elles sont issues et tout aussi incapables de les éradiquer des lieux où ils les ont introduites. Ce paradoxe avait déjà été identifié par Albert le Grand au... 13^e siècle !



Pour en savoir plus :

Mougenot C. et Strivay L. 2011. Le pire ami de l'homme, éd. La découverte.



Connaitre

En se basant sur les connaissances scientifiques, on peut apprendre à gérer la biodiversité de manière adaptative en fonction des lieux et des régions. Concernant les espèces exotiques envahissantes, elles se développent différemment selon le type de sol, la végétation autochtone, la faune, la topographie et le climat des îles. Et plus le développement économique est important, plus leur nombre augmente. Ce qui facilite les dégâts dans les secteurs de l'agriculture et de la foresterie.



LA CANNELLE PROTÉGTRICE

UNE ESPÈCE EXOTIQUE ENVAHISSANTE QUI REND SERVICE

Les plantes exotiques envahissantes modifient un capital naturel auquel les services écosystémiques sont liés.

Aux îles Seychelles, sur l'île de Mahé, 70 à 90 % de la canopée arbustive est composée de l'arbre à cannelle, *Cinnamomum verum*. Importé au 19^e siècle, celui-ci a profité de l'exploitation des arbres de la forêt et du développement des besoins en cannelle pour petit à petit coloniser l'ensemble de l'île. Cependant, l'arbre à cannelle ne forme pas de fourrés impénétrables et laisse la possibilité aux espèces de plantes endémiques de croître sous son couvert. Dans le contexte touristique des Seychelles, où la biodiversité représente une source de devises étrangères et donc un service culturel d'importance, la conservation des espèces endémiques de la faune et de la flore des îles est une volonté politique. Au fil des recherches portant sur *Cinnamomum verum*, il est apparu que l'espèce rend plusieurs services écosystémiques. Sur des sols pauvres en phosphore,



l'arrachage de l'arbre à cannelle ne facilite pas la croissance des jeunes plantules des espèces végétales locales, au contraire. Les sols ont tendance à s'éroder et d'autres espèces envahissantes, aux effets plus néfastes, colonisent alors les trouées. L'arbre à cannelle permet finalement d'empêcher la progression d'autres plantes exotiques envahissantes tout en facilitant - avec l'aide des êtres humains - la régénération de la forêt naturelle « d'origine ». D'autre part, même si l'espèce détourne les chauves-souris et les oiseaux locaux de leur nourriture locale parce que ses fruits sont particulièrement attrayants, elle contribue à maintenir leurs populations en place.

DÉLICIEUSE GOYAVE UN SERVICE POUR L'HUMANITÉ MAIS PAS POUR LA BIODIVERSITÉ

En matière d'espèces végétales exotiques envahissantes et de leurs impacts sur les services rendus des écosystèmes, on ne peut pas établir de règles générales.

A l'île de La Réunion, où la biodiversité endémique est menacée par de nombreuses espèces exotiques envahissantes, la définition du service écosystémique pourrait presque être remise en cause par le cas du goyavier, espèce introduite d'Amérique du Sud. S'étendant en de très nombreux lieux de l'île, le goyavier a apporté aux habitants une source gratuite et abondante de fruits riches en sucres et en vitamines. La valorisation économique de cette ressource ne s'est pas fait attendre. En termes de services de prélèvement et culturel, le goyavier est providentiel mais en termes de services d'auto-entretien, il faudrait estimer son impact sur la rétention en eau des sols. En revanche, pour la conservation de la biodiversité le bilan est clairement négatif !

Plus l'être humain est enclin à admettre qu'il dépend de nombreux services et que ces derniers maintiennent la nature en l'état, plus le nombre d'espèces ayant chacune un rôle pour un service particulier devient important.

A l'opposé, si l'on se restreint à une faible compréhension des besoins en services écologiques, on omet des espèces importantes pour d'autres services et d'autres bénéficiaires, à d'autres échelles d'espace ou de temps.



LES PRAIRIES À LA LOUPE

COMBIEN D'ESPÈCES SONT-ELLES NÉCESSAIRES POUR MAINTENIR LES SERVICES FOURNIS PAR LA BIODIVERSITÉ ?

La majorité des espèces assurent au moins un service au cours de leur vie que ce soit pour l'espèce humaine ou les autres ! Ce service fourni peut varier selon la fonction considérée, l'année, l'emplacement et les changements de l'environnement.



Toutes les pelouses ne sont pas équivalentes. Chaque espèce végétale possède à un moment ou à un autre dans sa vie une fonction importante pour son écosystème. Cette fonction est, par exemple, mesurée par sa part relative au carbone contenu dans le sol ou à la biomasse des racines, la diversité et la quantité d'insectes dans la prairie, etc.

Une étude ayant décortiqué les résultats de 17 expériences scientifiques portant sur le rôle de la biodiversité sur la productivité des prairies a ainsi montré que même les espèces rares soutiennent une fonction de l'écosystème. Cette fonction peut d'ailleurs être très importante. Les chercheurs ont trouvé tous les cas de figure. Selon les années, ce peut être différentes espèces végétales qui assurent certaines fonctions. Parfois, une seule fonction est assurée par plusieurs plantes. Enfin au cours d'une année, les fonctions peuvent être réalisées par des plantes variées.



Alors quelles sont les espèces à conserver en priorité ?
Et pour quels services ?
Sur quelles bases peut-on choisir, si un choix nous est offert ?
Selon nos objectifs ? Les caractéristiques de chacune des herbacées devront inévitablement être connues.



Source : Forest I. et al. 2011. *High plant diversity is needed to maintain ecosystem Service*. Nature, 477 : 199-203

DES BÂTONS VIBREURS AUX BOURDONS

LA TECHNIQUE PEUT-ELLE REMPLACER LE SERVICE ÉCOSYSTÉMIQUE ?

La connaissance de l'écologie des espèces végétales et animales est un gage d'innovation pour des services futurs.



Diverses cultures végétales réalisées en serre dépendent des insectes pour la production des légumes. L'étape de la pollinisation des fleurs est en effet primordiale. Cependant, pour des raisons sanitaires, ces cultures sont généralement protégées des pollinisateurs sauvages. Dans le cas des cultures de tomates, on avait pensé à utiliser la technologie en mettant au point des « bâtons vibreurs » électriques. Ces derniers secouaient les fleurs afin de faire tomber le pollen sur le pistil.

Mais il s'agissait là d'un travail long et fastidieux. On eu alors l'idée d'utiliser la « technique naturelle » : celle des bourdons. Vivant en colonie, ils s'adaptent au milieu fermé des serres et travaillent par tous les temps - températures inférieures à 15°C, et sans ensoleillement. Ce que ne font pas les abeilles. Autre avantage : les bourdons sont plus à même de secouer la fleur de tomate.

Ces colonies de bourdons sont aujourd'hui produites à grande échelle par des entreprises spécialisées. La première production légumière mondiale reste donc tributaire d'un service écologique.



Méditer

La prise de conscience de la responsabilité des humains dans l'érosion de la biodiversité et les problèmes philosophiques et éthiques qu'elle soulève s'inscrit dans différents courants de pensée. Ils sont l'objet de débats animés. John Baird Callicott est l'un des fondateurs de l'éthique environnementale. Il est un ardent défenseur de l'idée que nous sommes à l'aube d'un changement radical de paradigme quant aux interactions entre humains et non-humain. Il a activement participé au lancement de la revue « Environmental ethics » en 1979.



DES HUMAINS QUI S'INTERROGENT

LA VALORISATION DES SERVICES FOURNIS PAR LA BIODIVERSITÉ DÉPEND DES POINTS DE VUE

L'éthique de l'environnement questionne les droits et devoirs des êtres humains vis-à-vis de la nature et s'inscrit dans plusieurs courants de pensée qui portent sur la légitimité de l'anthropocentrisme occidental dans la construction des normes de gestion des systèmes naturels.

Anthropocentrisme, biocentrisme et écocentrisme

C'est aux États-Unis qu'ont été initiés les mouvements modernes sur l'éthique de l'environnement. L'un des fondateurs fut Gifford Pinchot (1865-1946), fondateur et premier directeur du service forestier des États-Unis. Pinchot était l'artisan d'une gestion forestière soucieuse de la conservation et d'un usage durable de la forêt. Fondamentalement anthropocentriste, Gifford Pinchot était l'avocat d'un art de la production forestière « pour le service de l'homme » mais qui n'obère pas la richesse biologique de la forêt. En cela, il s'opposait à d'autres penseurs qui, à l'instar de John Muir (1838-1914), étaient fondamentalement opposés à toute forme d'instrumentalisation de la nature. Muir appréhendait la nature comme un temple où l'humain n'est plus le maître et la finalité du monde, mais un élément du « cosmos » égal aux autres.



Selon la vision non-anthropocentriste, tout être vivant est un « centre-téléologique-de-vie ». Il doit être considéré comme une fin en soi, condition nécessaire et suffisante pour être doté d'une valeur intrinsèque et donc, être sujet de considération morale. C'est dans ce contexte qu'est né le clivage philosophique entre le biocentrisme et l'écocentrisme. Le premier défend le vivant, tout le vivant, à l'échelle de l'individu. Le second, plus particulièrement développé par Aldo Leopold, plaide pour l'intégrité de la communauté biotique, système écologique complexe qui comprend la totalité des organismes qui le composent, y compris les humains.

Deep ecology

Le philosophe norvégien Arne Naess, fondateur de la *Deep Ecology* (Ecologie profonde), rejette une écologie qui se soucie davantage des symptômes de la dégradation de l'environnement que de ses causes qui relèvent des relations instrumentalisées entre l'humain et la nature. Renouant avec l'ancienne pensée organiciste, que James Lovelock a reprise et développée dans son hypothèse Gaïa, Arne Naess considère la nature comme un immense tissu de relations qui font d'elle un organisme à part entière dont tous les constituants, quels qu'ils soient, ont un droit égal à la vie. Regarder avec compassion et prendre fait et cause pour des victimes qui s'étendent au-delà du cercle des humains, c'est faire acte de solidarité avec l'environnement et reconnaître à l'animal ce droit au respect.

Libération des animaux

Peter Singer est à l'origine du mouvement de Libération des animaux. Il se demande si l'appartenance à l'espèce humaine est un critère pertinent et suffisant pour fonder une respectabilité morale qui soit exclusive de celle d'êtres vivants non-humains. Privilégier les êtres humains au seul titre de leur appartenance à l'espèce humaine relèverait d'une discrimination arbitraire qualifiée de spécisme. Cela pourrait aller jusqu'à justifier certaines discriminations au nom de l'appartenance à certains groupes, comme on peut l'observer avec le racisme ou le sexisme.



QUELQUES RÉFÉRENCES

- Agir avec la nature, Vers des solutions durables. 2010. Piermont L., Seuil.
- Aux origines de l'environnement. 2010. Coord. Gouyon P. H. & H. Leriche, Fayard.
- L'Archipel de la Vie. Essai sur la diversité biologique et une éthique de sa pratique. 2012. Blondel J., Buchet/Chastel.
- Biodiversité, L'avenir du vivant. 2010. Blandin P., Albin Michel.
- Du bon usage des arbres. 2011. Hallé F., Actes Sud.
- La biodiversité à travers des exemples. 2007. MEDAD/D4E.
- La biodiversité à travers des exemples, les réseaux de la vie. 2008. MEEDDAT.
- La biodiversité, de l'océan à la cité, 2014, Gilles Boeuf, Collège de France/Fayard, Paris, 85 pages
- La vie, quelle entreprise ! Pour une révolution écologique de l'économie. 2010. Barbault R. & J. Weber, Le Seuil.
- L'Ecologie pour les nuls. 2009. Courchamp F. Générales First.
- L'enjeu plancton, L'écologie de l'invisible. 2009. Thomas-Bourgneuf M. & P. Mollo, Charles Léopold Mayer.
- Les invasions biologiques, une question de natures et de sociétés. 2010. coord Barbault R. & M. Atramentowicz, Quae.
- Mieux intégrer la biodiversité dans la gestion forestière, 2010. Gosselin M. & Y. Paillet, Quae.

CONTACTS

Yvon LE MAHO, président du CSPNB :

Conseil-biodiversite@developpement-durable.gouv.fr

Anne-Sophie CARPENTIER, secrétaire scientifique :

Conseil-biodiversite@developpement-durable.gouv.fr

Béatrice SAUREL, création et mise en forme graphiques :

saurelb@free.fr

CITATION

CSPNB, 2012. La biodiversité à travers des exemples, services compris. MEDDTL. 184 p.

REMERCIEMENTS

Le CSPNB remercie tout particulièrement Lisa Garnier qui a assuré avec enthousiasme et patience la coordination de cet ouvrage.

Le CSPNB remercie Jean-Pierre Lumaret, Doyle Mac Key, Virginie Maris, Jean-François Ponge, Michel Racine, Lionel Ranjard pour leur contribution précieuse à la rédaction de l'ouvrage.

Et aussi pour leur aide gracieuse : Antonio Bispo, Nicole Chabard, Marc Cheylan, Daniel Cluzeau, Jack Davis (Bristol Bay Are Health Corporation), Colomban De Vargas et le programme Tara-Oceans, Annélie et Violaine Durand, Claire Hubert, Martine Lejeune, Murièle Millot, Philippe Rigaud, Clara Talvin, Frank Zanderink de ARK Natuurontwikkeling.

CREDITS PHOTOGRAPHIQUE et ICONOGRAPHIQUE

Mary E. Rumpho-Kennedy-University of Maine, Jacques Blondel, Gilles Boeuf, Margaux Carmichael-EPPO-SBRoscoff-CNRS, Marilyn Casteel, Denis Clavreul, Vincent Colson, Cliff Cooper, Pierre-Charles Dominique, Christian Dupraz, Stéphane Durand, W&Z Flanners, Lisa Garnier, Mathias Hune-Universidad de Magallanes, Yves Luginbühl, Doyle Mac Key, Nathalie Magrou, Erin Mckittre-Ground Truth Trekking, Fabrice Mrugala, Christian Peeters, Jacques Portécop, J-F Debras-INRA, T. Teunissen-ARK, Dr. Mary Tyler-University of Maine

Un grand merci à Béatrice Saurel pour l'utilisation de ses photographies personnelles et de ses propositions artistiques.

Nos remerciements aux photothèques :

- Base indigo de l'IRD, A. Bertrand, M-N. Favier, D. Le Pierres, J.-P. Montoroi, IM. Ojeda (<http://www.indigo.ird.fr>)
- CNRS, Gaëlle Fernet, Observatoire de Rennes-INRA-O. Jambon, G. Bouger, JL. Roge (<http://phototheque.cnrs.fr>)
- DORIS : doris.ffessm.fr, V. Maran (<http://doris.ffessm.fr/>)
- Ifremer, Olivier Barbaroux, F. Blanchard, Olivier Dugornay, Michel Gouillou, Jérôme Hussenot, Marc Taquet (<http://phototheque.ifremer.fr/>), H. Lemonnier (Ifremer Nouvelle-Calédonie)
- Institut Cartogràfic de Catalunya
- Kunsthistorisches Museum mit MVK und ÖTM (<http://www.khm.at/>)
- Ministère des Affaires étrangères-MAEE, A. Arraou, F. de La Mure, P. Xicluna (www.diplomatie.gouv.fr/fr/)
- Museo Nacional del Prado (<http://www.museodelprado.es>)
- NASA (<http://www.nasa.gov>)
- National Archives & Records Administration (<http://www.archives.gov/>)
- National Park Service (<http://www.nps.gov>)
- Skoklosters slott, Jens Mohr (<http://www.skoklostersslott.se>)
- U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration

Tous nos remerciements aux photographes anonymes ou non, ayant placé leurs photographies sur le site Wikipedia, l'encyclopédie libre, et Wikimedia Commons. Un grand merci à Luc Viatour.

N. Adamson, H. Albert, Amada44, Antony B, Bananaflo, Bartz, L. Betts-USDA Natural Resources Conservation Service, S. Beucler, British Library, R. Brix, G. Bochenek, F. Böhringer, CNES-Spot Image, V. Cult..., Donniedarko37, Dval027, Elapied, H-J. Ellwig, Erutuon, Flagstaffotos, Florida Keys National Marine Sanctuary, I. Fragniere, D.J. Fred, Fredduf, Frinck51, J. Gao, GlebK, P. Gibellini, H. Hillewaert, A. Hutter, Justinsomnia, R. Jouan, André Karwath aka Aka, Khardan, H. Krapf, Lalupa, Lamiot, G. Lebègue, T. Llovet, M. Lucan, Naumann (Natural history of the birds of central Europe), B. Navez, J. Nichols, Nilsson et al. BMC Bioinformatics 2005 et A. Escobar ,Oregon Historical Society, Oroussei, Orpingtonmania, Dieder Plu, R. Rasbak, Sailko, D. Sanches, S. Shebs, A. Sheikh, Marek. Szczepanek, M. Takeuchi, The Yorck Project, M. Thyssen(mtfoto.dk), A. D. Wilson, Wolog, B. Zunino.

Lorsque le nom de l'auteur n'était pas indiqué ou que le crédit ne correspondait pas un nom, nous avons indiqué le crédit de Wikipedia. Nous avons appliqué la licence Creative Commons. soumis à la licence CC-BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.fr>) ainsi que la GNU Free Documentation License (GFDL) et la GNU General Public License (GPL) ou GNU Lesser General Public License (LGPL).

Contributeurs de Wikipédia, "Licence," Wikipédia, l'encyclopédie libre, <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Licence&oldid=74185002> (Page consultée le janvier 30, 2012).



DÉJÀ PARUS

Avant la parution de ce troisième tome, le Conseil scientifique du patrimoine naturel et de la biodiversité a publié deux précédents ouvrages pour le Ministère de l'écologie et du développement durable. Ils sont gratuits et peuvent être téléchargés sur la page présentant le CSPNB, dont le secrétariat est assuré par la Direction de la recherche et de l'innovation du Commissariat général au développement durable. <http://www.developpement-durable.gouv.fr>

2007

La biodiversité à travers des exemples

Biodiversité utile

Biodiversité en danger

Renouer avec la biodiversité

Ouvrage gratuit disponible et téléchargeable en anglais sur <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/01-65.pdf>

2008

La biodiversité à travers des exemples Les réseaux de la vie

Qu'est-ce que la biodiversité ?

La biodiversité a besoin d'espace

La biodiversité, une affaire de temps

La biodiversité, un jeu complexe d'interactions

2012

La biodiversité à travers des exemples Services compris

Culture et biodiversité

Ingénieuse nature

Les conditions pour la vie

Les services du futur



ISBN : 978-2-11-129644-2



La biodiversité à travers des exemples services compris

La planète Terre est la seule planète identifiée abritant la vie telle que nous la connaissons. Et par une incroyable alchimie de gaz, des organismes aussi différents que les plantes et les animaux ont réussi à s'y développer et coexister au cours des millénaires. Insérés dans ce réseau du vivant, les êtres humains ont su tirer parti des richesses produites par la vie. Mais aussi s'amuser, s'extasier, se ressourcer au sein de la nature.... Nos émotions sont liées à la biodiversité. Mais pour satisfaire ses envies, l'humanité a souvent puisé dans le vivant sans tenir compte de son renouvellement. Pourtant l'ingéniosité des êtres humains peut multiplier la productivité de la nature, sans la détruire, en se basant sur la connaissance de ses « technologies ».

Une voie d'avenir pour vivre bien au sein d'une nature riche et variée !

Cet ouvrage collectif du Conseil scientifique du patrimoine naturel et de la biodiversité présente les services rendus de la biodiversité à travers une centaine d'exemples. Il complète les premier et second tomes de la collection.

..... S o m m a i r e

Culture et biodiversité

S'inspirer. Collectionner. Découvrir. Symboliser.

Ingénieuse nature

Des variétés. Des paysages. Des champs. Des terres mises à mal. Des filets en mers. Des poissons dans le rouge. Des forêts.

Les conditions pour la vie

La terre. Oxygène et carbone. L'eau. Manger ou être mangé. Se multiplier et s'éparpiller. Coopérer.

Les services du futur.

Innovier. Choisir. Connaître. Méditer.

