

Qu'est-ce que la biodiversité ? Quels sont les mécanismes de son érosion ?

Par Gilles BOEUF*

Les Nations Unies avaient déclaré l'année 2010 « Année internationale de la biodiversité », suite à la résolution adoptée en juin 2002 au Sommet de la Terre à Johannesburg qui avait eu la prétention de freiner, voire de stopper (!), l'érosion de la biodiversité pour 2010. Or, toutes les constatations faites en 2010, et ce dès la Conférence de l'Unesco tenue à Paris en janvier de la même année, ont montré que la situation n'avait jamais été aussi préoccupante.

La Vie a été capable de différencier, depuis ses origines, il y a quelque 3,85 milliards d'années dans l'océan ancestral, une infinité de formes d'organismes vivants qui se sont « associées », dans tous les sens du terme, pour construire des écosystèmes en relations étroites avec leur environnement.

On peut estimer que sur ce long laps de temps, le vivant a été capable d'élaborer largement plus d'un milliard d'espèces, qui sont apparues et qui ont, pour certaines, disparu, avec leur diversité de formes, de tailles, de couleurs, de mœurs, de spécificités, de traits d'histoire de vie, d'adaptations... Nous évaluons à environ 1 ou 1,5 % de toutes ces espèces celles qui nous accompagnent encore actuellement.

Mais, aujourd'hui, un cri d'alarme est lancé : la biodiversité est entrée dans une phase d'érosion beaucoup trop forte, en fait depuis une époque très récente de l'histoire de la Terre, celle dénommée par le Prix Nobel de chimie de 1995, P. H. Crutzen, « l'anthropocène » (CRUTZEN et STOERMER, 2000).

Faisant suite à l'holocène (terme proposé par C. Lyell en 1833, « l'ère récente », située entre -18 000 et - 8 000 ans, le « tardiglaciaire »), l'anthropocène est marqué par l'influence massive de l'espèce humaine sur l'environnement.

À la suite de Denis Papin, James Watt a inventé en 1784 une machine à vapeur fiable, et un essor industriel sans précédent a débuté : pour la première fois, « l'animal cheval » a été remplacé par le « cheval-vapeur » ! Tout cela a accéléré l'exploitation des ressources énergétiques fossiles et la destruction des écosystèmes : en trois ou quatre siècles, l'être humain aura été capable d'épuiser la totalité des ressources fossiles accumulées depuis des centaines de millions d'années et aura provoqué une urbanisation multipliée par dix, associée à un décuplement de la population. Parallèlement, les progrès en matière de production agricole ont été spectaculaires.

Nous rejetons dans l'environnement des quantités de plus en plus importantes de gaz à effet de serre (vapeur d'eau, CO₂, méthane...) et de dioxyde de soufre, et nous pro-

voquons par les amendements agricoles la fixation de deux fois plus d'azote (BARBAULT, 2006). La ressource en eau est très menacée : quelles guerres, demain, pour l'accès à... l'eau potable ? L'eau, une des molécules les plus banales dans l'univers, est « oubliée » sur la Terre : c'est une erreur catastrophique (BOEUF, 2012) : n'oublions pas que nous sommes constitués pour deux tiers d'eau, et que notre cerveau l'est à hauteur des quatre cinquièmes !

Les impacts de l'humanité sur son environnement au cours de son histoire récente (50 000 ans) sont plus ou moins bien documentés dans la littérature scientifique, mais nous disposons de quelques données solides. Bien entendu, on pourra toujours dire (à juste titre) que ce sont les variations climatiques, fréquentes au cours de ces périodes, qui ont fortement contribué aux mouvements de faunes et de flores et à leur extinction partielle ou totale (BOEUF, 2008 ; BLONDEL et al., 2010). Il n'en est pas moins vrai que l'humain porte une forte responsabilité dans nombre de ces modifications. S'il a souvent apporté les conditions de la proverbiale « goutte d'eau qui fait déborder le vase », il est aussi, bien souvent, seul en cause, en particulier dans tous les écosystèmes insulaires et même sur le grand continent australien, qui n'a pas vécu de bouleversement climatique depuis très longtemps.

Durant plusieurs centaines de milliers d'années, les individus du genre *Homo* n'ont pas davantage impacté leur environnement que des mammifères omnivores de taille comparable (BOEUF, 2010), comme, par exemple, les sangliers. Mais dès la domestication du feu par *Homo erectus* vers - 800 000 ans, l'influence de celui-ci sur son environnement a été de plus en plus marquée.

Rapidement (et nous suivrons bien volontiers Lévêque et Mounolou quand ils précisent en 2001 que le « mythe du Bon sauvage » en prend un coup !), l'espèce « *sapiens* », de plus en plus technicienne, ingénieuse, intelligente, inventive et agressive, a commencé à avoir un impact inquiétant sur les milieux naturels et à dégrader son environnement, souvent d'une manière irréversible pour la biodiversité.

Ce phénomène s'accéléra considérablement lors de la « révolution néolithique » (vers 12 000 à 8 000 ans avant notre ère), avec le premier *baby boom* lié à l'arrêt du nomadisme exclusif et surtout aux premières réussites de l'élevage et de l'agriculture. Les humains s'organiseront plus tard en villages, puis en villes, vers le cinquième millénaire, et se protégeront mieux collectivement. La troisième « révolution » sera la révolution industrielle, concomitante de l'anthropocène de Paul Crutzen.

Et le phénomène continue de s'accélérer : la population humaine a plus que doublé en l'espace de cinquante ans. Après les recommandations de diverses commissions internationales depuis une vingtaine d'années, nous avons été bien incapables de freiner ou de stopper la perte de biodiversité pour 2010, tel que cela avait été proposé. Alors, la Conférence de l'Unesco, tenue à Paris en janvier 2010 dans le cadre de l'Année internationale de la biodiversité, n'a, en fait, que reporté cet objectif à 2020... Projet réaliste, ou totale utopie ? Pourquoi serions-nous capables de réussir au cours des huit années qui viennent ce que nous avons été incapables de faire durant les dix années passées ?

Il est bien clair que la biodiversité ne saurait être représentée par le seul inventaire descriptif des espèces vivantes peuplant un écosystème particulier. Cela ne décrirait que la diversité spécifique. La biodiversité, c'est beaucoup plus que cela, c'est l'ensemble des relations établies entre les divers êtres vivants et entre ceux-ci et leur environnement (BOEUF, 2008). Elle a aussi été définie comme étant toute l'information génétique contenue dans chaque unité élémentaire de diversité (BLONDEL, 2005) : un individu, une espèce, une population ou un écosystème.

La biodiversité actuelle est tout imprégnée de celle du passé : cela détermine son histoire passée, présente et future. Et cette histoire – même est déterminée par des processus qui sont eux-mêmes des composantes de la biodiversité ! En étendant le sujet scientifiquement, nous mettons aujourd'hui globalement quatre aspects dans le terme de « biodiversité » (LÉVÊQUE et MOUNOLOU, 2001 ; BOEUF, 2008) :

- ✓ a) 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,
- ✓ b) les approches plus récentes et prometteuses en matière d'écologie fonctionnelle et de biocomplexité, incluant l'étude des flux de matière et d'énergie et les grands cycles biogéochimiques,
- ✓ c) les travaux portant sur la nature « utile » pour l'humanité de par ses capacités à fournir des aliments, des substances à haute valeur ajoutée pour la fabrication de médicaments (BOEUF et KORNPROBST, 2009), de produits cosmétiques, de sondes moléculaires..., ou encore à offrir des modèles originaux et pertinents pour la recherche fondamentale et finalisée, afin de résoudre des questions agronomiques ou biomédicales (BOEUF, 2008),
- ✓ et, enfin, d) la mise en place de stratégies de conservation pour préserver et maintenir un patrimoine

naturel constituant un héritage à transmettre aux générations futures. La biodiversité, en fait, c'est le vivant dans toute sa complexité, c'est la fraction vivante de la nature.

Le terme de biodiversité est récent : créé en 1985 par W. Rosen aux Etats-Unis, puis repris par E.O. Wilson en 1986, il n'est sorti des laboratoires d'écologie qu'en 1992 lors du Sommet de la Terre à Rio-de-Janeiro. Le concept est alors parti à la conquête du grand public, des médias et du monde politique. D'un point de vue opérationnel (BLONDEL, 2005), la biodiversité est une priorité scientifique (comprendre sa genèse, ses fonctions et enrayer son érosion), un enjeu économique (ressources biologiques et génétiques à valoriser et à partager), un enjeu éthique (droit à la vie des espèces) et un enjeu social (partage des valeurs et des avantages), tous ces termes apparaissant dans la Convention sur la Diversité Biologique ratifiée à Rio en 1992, et aujourd'hui signée par 193 pays. Dès le départ, donc, les sciences de la nature et les sciences de l'Homme et de la société se sont retrouvées intimement liées, ce qui est indispensable pour comprendre, faire des propositions et avancer.

Grâce aux collections des muséums de sciences naturelles, nous connaissons environ deux millions d'espèces (tous organismes confondus : virus, bactéries, protozoaires, champignons, végétaux et animaux) et nous estimons actuellement que la diversité spécifique totale se situe dans une fourchette allant de 10 à 20 millions d'espèces.

L'imprécision extrême de ce chiffre en fait une cible de choix pour les détracteurs des questions environnementales. Et comment les écosystèmes fonctionneront-ils avec beaucoup moins d'espèces ? Lesquelles faut-il conserver, lesquelles doit-on « laisser disparaître » (comme si nous savions faire cela !). Que faut-il conserver ? Comment ? *Ex situ* (dans des parcs, des zoos, des jardins), ou bien *in situ* (dans leur milieu naturel, dans des réserves) ?

Au rythme actuel de la description des espèces, il nous faudra de sept cents à mille ans pour simplement terminer l'énumération de la diversité spécifique. Nous n'en aurons pas le temps ! Si nous continuons comme aujourd'hui, nous aurons provoqué l'extinction de la moitié des espèces d'ici à la fin de ce siècle (BARNOSKY et al., 2011).

Une espèce sur 50 000 devrait disparaître par siècle : si nous estimons la diversité actuelle à 10 millions, cela ferait 200 disparitions au cours d'un siècle. Or, pour les seuls vertébrés, 260 espèces bien répertoriées (et nous sommes encore très loin de la réalité !) ont disparu au cours du XX^e siècle.

La perte de biodiversité des forêts tropicales est de l'ordre de 0,8 % par an pour les animaux qu'elles hébergent, et ces forêts disparaissent au rythme d'un quart de la superficie de la France par année (90 millions d'hectares ont ainsi disparu durant les années 1990, soit plus que la surface du Venezuela). N'oublions pas que ces forêts sont incluses dans les « points chauds » de la planète, des zones du monde particulièrement riches en espèces, situées dans la ceinture intertropicale.

En mer, les écosystèmes coralliens, également remarquablement bio-divers, sont eux aussi très menacés (MUMBY et



© Gilles Boeuf

Vue de la forêt tropicale guyanaise en Amazonie.

STENECK, 2008). Il est trop tard pour l'espèce qui s'est éteinte hier soir et le risque est grand de voir disparaître demain celle que nous avons décrite hier !

Comment calcule-t-on les taux de disparition d'espèces et quelles sont les causes essentielles des pertes de biodiversité ?

Dans le document du *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), les taux de disparition d'espèces ont été estimés, à partir des superficies d'habitats disparus ou dégradés, dans une fourchette supérieure de 100 à 1 000 fois à ce que les paléontologues ont calculé sur les cinquante derniers millions d'années. En 2011, He et Hubbell ont révisé ces calculs et proposent un chiffre de l'ordre de 300. Il n'est pas simple de comparer les espèces actuelles aux genres du passé ! On peut aussi se demander si un taux d'extinction représente réellement le meilleur critère d'appréciation de l'intensité de l'impact de l'humain sur les écosystèmes aujourd'hui. En mer, par exemple, moins d'une vingtaine d'espèces ont « officiellement » été déclarées éteintes, sur quelques siècles ! Beaucoup plus graves sont les effondrements de stocks et les destructions d'écosystèmes !

Les causes majeures de l'effondrement actuel de la biodiversité sont au nombre de quatre ; la première, qui en explique à elle seule les deux tiers, est la destruction et la pollution des habitats. Les autres sont la surexploitation des ressources naturelles (les ressources vivantes étant naturellement renouvelables, mais l'homme interdisant leur « renouvelabilité », les seuils d'exploitation harmonieuse étant largement dépassés), la dissémination anarchique

d'espèces partout sur la planète (la « roulette écologique »), certaines devenant des « invasives » et, enfin, le changement climatique (BARBAULT, 2006 ; BOEUF, 2008 ; WALTHER et al., 2009 ; CSPNB, 2012).

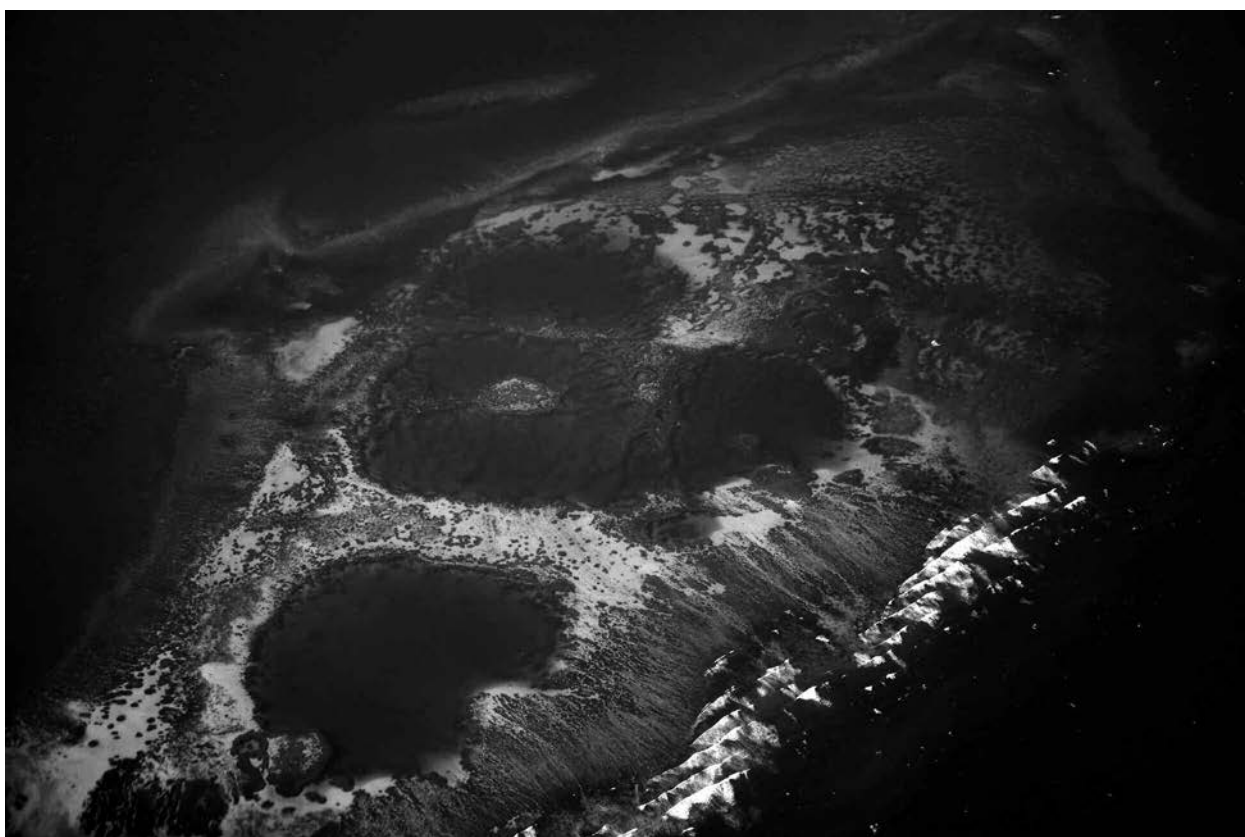
En ce qui concerne la première cause, l'expansion géographique de l'homme et sa démographie ont été liées à ses progrès agronomiques, mais il ne faudrait quand même pas imaginer aujourd'hui que la planète pourrait devenir un gigantesque agrosystème autour de mégapoles !

Il reste les océans, et la mise en réserve de zones remarquables apparaît également fondamentale.

En matière d'urbanisation, la France perd l'équivalent de la surface d'un département tous les sept ans ! Les villes représentent aujourd'hui 8 % de la superficie de la France. On prône beaucoup actuellement la *verdisation* des villes et le retour de la nature (« la campagne à la ville ») dans des plans « biodiversité » élaborés par des grandes villes, comme celui adopté par Paris en novembre 2011.

La ville ne peut plus être regardée comme un espace non naturel et son expansion géographique régulière repose de plus en plus la question de la responsabilité de l'urbanisme dans la conservation de la biodiversité. Tout comme l'on a imposé à l'agriculture toute une série de contraintes environnementales, il faudra inclure dans les projets d'urbanisme des règles spécifiques de préservation de la biodiversité.

Le défi est immense : il faudra nourrir demain neuf milliards d'êtres humains (GUILLOU et MATHERON, 2012) sans augmenter indéfiniment les surfaces agricoles (1 500 millions d'hectares aujourd'hui), sans détruire la biodiversité, sans



© Gilles Boeuf

Le Grand Récif du Sud en Nouvelle-Calédonie.

utiliser des pesticides et des insecticides, sans gaspiller l'eau...

En ce qui concerne la pollution, il faut savoir que l'humain contamine aussi des zones où il ne vit pas ! Ainsi, l'Arctique et l'Antarctique sont massivement touchés par les PCBs, l'acidification des océans est importante même au beau milieu du Pacifique,...

La surexploitation des ressources est patente en ce qui concerne la forêt tropicale, l'équivalent d'un quart de la surface de la France disparaissant chaque année. Il en est de même dans le domaine des pêches maritimes (CURY et MISERET, 2008) pour lesquelles, malgré des moyens de plus en plus sophistiqués pour détecter les stocks de poissons et pour les capturer, les prises n'augmentent plus depuis une vingtaine d'années. Entre 50 et 90 % de tous les grands poissons pélagiques ont été éradiqués en l'espace de quinze ans ! On débarque dans les ports de moins en moins d'espèces, avec des individus de plus en plus petits. Une aquaculture soutenable tarde à se mettre en place, mais nous progressons.

Dans le monde entier, les disséminations incontrôlées d'espèces sont très préoccupantes. Par exemple, les tankers géants relarguent chaque année dans les océans 12 millions de tonnes d'eau de mer de toute origine, répandant ainsi des espèces invasives et/ou toxiques. S'échangent ainsi plus de 3 000 espèces par jour. L'étang de Thau, en France, est devenu un écosystème... japonais ! En effet, des naissains d'huîtres japonaises y ont été régulièrement introduits depuis quarante ans. 300 plantes (sur

les 300 000 connues) posent de très sérieux problèmes de prolifération, contre lesquels les cinq cent milliards d'euros dépensés annuellement pour les éradiquer s'avèrent inefficaces.

La science elle-même, qui a joué le rôle de lanceur d'alerte, peine à trouver les bonnes répliques pour faire la part des choses entre des espèces « acceptables » (qui d'ailleurs se révèlent comme telles après des temps souvent très longs) et des espèces absolument indésirables, dont certaines ont toutefois fait consensus à l'échelle de la planète (cette liste comprend des espèces bactériennes, végétales et animales). Elle a également du mal à évaluer l'ensemble des dégâts occasionnés par les invasions biologiques, qui sont pourtant souvent jugés considérables à dire d'experts. Cette difficulté est liée au manque de références antérieures sur les espèces présentes (manque d'inventaires), sur l'état de leurs populations et surtout sur celui des écosystèmes qui les accueillent, sur leur fonctionnement et sur l'ensemble des services qu'ils rendent, ce qui empêche d'évaluer correctement les dysfonctionnements et, surtout, « les services perdus ». Par ailleurs, nous ne savons toujours pas analyser finement le fonctionnement de ces écosystèmes de substitution dans lesquels dominent non pas une, mais plusieurs espèces allochtones (ou non), et qui préfigurent les écosystèmes de l'avenir, lorsque les changements climatiques s'exerceront pleinement, faisant disparaître une partie des espèces autochtones et favorisant de plus en plus l'arrivée d'espèces exotiques (LEFEUVRE, 2012).



© Denis Bringard/BIOSPOTO

Dans le monde entier, les disséminations incontrôlées d'espèces sont très préoccupantes, observation d'ambrosies, une plante sauvage envahissante et allergisante, Haute-Saône.

Les impacts du changement climatique sont aussi souvent délétères sur le maintien de la diversité biologique. La température de l'eau ou de l'air n'est pas seule en jeu, il y a aussi la remontée du niveau des océans et, localement, des phénomènes associés d'appauvrissement de l'eau en oxygène. Les espèces sont soumises à la « traque à l'habitat » ! Dans les deux hémisphères, on migre vers les pôles, tant en milieux continentaux qu'en milieux océaniques. Beaucoup de travaux publiés au début des années 2000 (cartes de répartition des espèces) sont aujourd'hui contredits par des études portant sur des séries plus longues, qui démontrent que ces espèces « n'ont pas le temps de faire la route » (BERTRAND et *al.*, 2011, DEVICTOR et *al.*, 2012), que ce soit des arbres, des papillons ou des oiseaux ! Les effets du réchauffement apparaissent de plus en plus discernables, tant sur les végétaux que chez les animaux. Le travail de Thomas et *al.*, en 2004, prévoyait l'extinction, liée à cette cause, d'un million d'espèces à l'horizon 2050. Comme bien souvent, même si les valeurs absolues des paramètres enregistrés peuvent parfois apparaître préoccupantes, c'est bien plus la vitesse et l'accélération des changements de tous ordres qui sont inquiétantes.

Aujourd'hui, après des centaines de millions d'années durant lesquelles les grands facteurs de l'environnement (la température, la salinité de l'océan, la composition de l'air,...) ont été les moteurs de l'évolution du vivant et de ses capacités adaptatives, c'est bien l'humain et son cortège d'activités qui en sont devenus le moteur essentiel !

En estimant les vitesses d'évolution des espèces, en tentant de prédire les trajectoires possibles et en planifiant ces mécanismes à l'avance, nous pourrions sans doute réduire fortement l'impact de l'humain sur les espèces et les écosystèmes, et sérieusement améliorer les coûts économiques et sociaux de nos activités sur la nature (PALUMBI, 2001). Il n'y a pas d'agriculture durable autre que l'agriculture écologique, et il n'y a pas de santé durable autre qu'écologiquement fondée (BARBAULT, 2006).

Le capital naturel ne peut indéfiniment être appauvri (BOEUF, 2010) et nous ne pouvons nous passer des services rendus par les écosystèmes. L'humain a aussi un profond besoin de communiquer étroitement avec la nature (WILSON, 2007 ; MITCHELL et POPHAM, 2009).

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 déclençons autour de nous ? Saurons-nous, au cours de ce XXI^e siècle, justifier pleinement et mériter enfin ce qualificatif de « *sapiens* » dont nous nous sommes nous-mêmes affublés ?

Note

* Président du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire Arago, UPMC/CNRS, Sorbonne Université, Banyuls-sur-Mer, gboeuf@obs-banyuls.fr et boeuf@mnhn.fr

Bibliographie

BARBAULT (R.), *Un éléphant dans un jeu de quilles. L'homme dans la biodiversité*, Paris, Seuil, Science ouverte, 266 pages, 2006.

BARNOSKY (A.D.) & al., "Has the Earth's 6th mass extinction already arrived?", *Nature*, 471, pp. 51-57, 2011.

BERTRAND (R.) & al., "Lowland plant lag behind climate warning", *Nature*, doi:10.1038/nature10548, 2011.

BLONDEL (J.), *Biodiversité et sciences de la nature. Les biodiversités, objets, théories, pratiques*, Paris, CNRS Editions, pp. 23-36, 2005.

BLONDEL (J.), ARONSON (J.), BODIOLU (J.Y.) & BOEUF (G.), "The Mediterranean Region: biological diversity in space and time", *Oxford University Press*, 376 p., 2010.

BOEUF (G.), « Quel avenir pour la Biodiversité ? », in *Un monde meilleur pour tous, projet réaliste ou rêve insensé ?*, sous la direction de J.-P. Changeux et J. Reisse, Paris, Collège de France/Odile Jacob, pp. 47-98, 2008.

BOEUF (G.) & KORNPROBST (J. M.), « Biodiversité et chimio-diversité marines », *Biofutur*, 301, pp. 28-32, 2009.

BOEUF (G.), « Quelle Terre allons-nous laisser à nos enfants ? », in *Aux origines de l'environnement*, sous la direction de GOUYON (P.Y.) & LERICHE (H.), Paris, Fayard, pp. 432-445, 2010.

BOEUF (G.), « L'eau dans les systèmes biologiques, évolution et biodiversité », *Biofutur*, 331, pp. 59-61, 2012.

BUTCHART (S. H. M.) et al., "Global biodiversity: indicators of recent declines", *Science*, 328, pp. 1164-1168, 2010.

CRUTZEN (P. J.) & STOERMER (E. F.), "The "Anthropocene" ", *Global Change Newsletter*, 41, pp. 12-13, 2000.

CURY (P.) & MISERET (P.), *Une mer sans poissons*, Calmann-Lévy, Paris, 283 pages, 2008.

CSPNB, *La biodiversité à travers des exemples, services compris*, tome 3, CSPNB, ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, MEEDDTL, 186 pages, 2012.

DEVICTOR (V.) & al., "Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale", *Nature Climatic Change*, DOI: 10.1038/NCLIMATE1347, 2012.

GUILLOU (M.) & MATHERON (G.), *9 milliards d'hommes à nourrir. Un défi pour demain*, François Bourin éd., Paris, 421 pages, 2011.

HE (F.) & HUBBELL (S. P.), "Species-area relationships always overestimate extinction rates from habitat loss", *Nature*, 473, pp. 368-371, 2011.

LEFEUVRE (J.C.), *Les invasions biologiques, un danger pour la biodiversité*, Buchet-Chastel, (sous presse, 2012).

LEVEQUE (C.) & MOUNOLOU (J.C.), *Biodiversité. Dynamique biologique et conservation*. Paris, Dunod, 248 pages, 2001.

Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and human well-being: synthesis*, Washington DC, Island Press, 137 p., 2005.

MITCHELL (R.) & POPHAM (F.), "Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study", *The Lancet*, 372, pp. 1655-1660, 2008.

MUMBY (P. J.) & STENECK (R.S.), *Coral reef management and conservation in light of rapidly evolving ecological paradigms*, Trends in Ecology and Evolution, 23, pp. 555-563, 2008.

PALUMBI (S.R.), "Humans as the world's greatest evolutionary force", *Science*, 293, pp. 1786-1790, 2001.

THOMAS (C. O.) et al., "Extinction risk from climate change", *Nature*, 427, pp. 145-148, 2004.

WALTHER (G. R.) et al., *Alien species in a warmer world : risks and opportunities*, Trends in Ecology and Evolution, 24 (12), pp. 686-693, 2009.

WILSON (E.O.), *Sauvons la biodiversité*, Dunod, Paris, 204 pages, 2007.