L'annuaire du Collège de France
Cours et travaux

114 | 2015
Annuaire du Collège de France 2013-2014

Développement durable : environnement, énergie et société

Gilles Boeuf

Édition électronique
URL : https://journals.openedition.org/annuaire-cdf/11975
DOI : 10.4000/annuaire-cdf.11975
ISBN : 978-2-7226-0448-3
ISSN : 2109-9227

Éditeur
Collège de France

Édition imprimée
Date de publication : 1 juillet 2015
Pagination : 867-879
ISBN : 978-2-7226-0414-8
ISSN : 0069-5580

Référence électronique
Gilles Boeuf, « Développement durable : environnement, énergie et société », *L'annuaire du Collège de France* [En ligne], 114 | 2015, mis en ligne le 23 mai 2016, consulté le 22 août 2022. URL : http://journals.openedition.org/annuaire-cdf/11975 ; DOI : https://doi.org/10.4000/annuaire-cdf.11975

Tous droits réservés

Développement durable : environnement, énergie et société

M. Gilles BOEUF, professeur
à l'université Pierre et Marie Curie,
président du Muséum national d'histoire naturelle,
professeur invité sur chaire annuelle

ENSEIGNEMENT. BIODIVERSITÉ, SES CROISEMENTS AVEC L'HUMANITÉ

Leçon inaugurale. Biodiversité : de l'océan et la forêt, à la cité » (19 décembre 2013 [a])

Bâtie sur la chimie pré-biotique issue d'une géo-diversité antérieure, la biodiversité est née dans l'océan ancestral vers 3850 millions d'années (Ma), quand les premières cellules se sont clonées par scissiparité. La vie s'est ensuite diversifiée dans l'océan durant des milliards et des centaines de millions d'années et se sont alors produits des évènements essentiels pour le vivant : l'émergence de la cellule eucaryote, la capture de bactéries qui deviendront les organites par symbiose (mitochondries et, plus tard, plastes), la pluri-cellularité, puis enfin le développement de la sexualité. Tout est en place quand la vie métazoaire organisée sort des océans, plusieurs fois, en plusieurs endroits, sous différentes formes, vers 450 Ma. La biodiversité (essentiellement des micro-organismes, champignons, plantes et arthropodes) explose alors sur les continents dans les forêts du Carbonifère et se répand partout. Les espèces s'organisent en populations, écosystèmes, biomes, etc.

Les écosystèmes les plus riches en espèces sont, sur les continents, les forêts tropicales humides et, dans les océans, les récifs coralliens. Depuis 2007, l'humanité vit majoritairement dans les cités et, à l'heure actuelle, nous nous intéressons tout particulièrement au retour de la biodiversité en ville. Aujourd'hui, nous connaissons un peu plus de 2 millions d'espèces (1,7 million d'espèces terrestres et 300 000 espèces marines), décrites et déposées dans les musées. Il en demeure plus de 80 % à découvrir.

Pourtant la biodiversité est bien autre chose que les seuls catalogues ou inventaires d'espèces qui ont été élaborés depuis quelques siècles, à partir de grandes expéditions

---

a. La leçon inaugurale est publiée sous forme imprimée (Collège de France/Fayard, 2014) et numérique (Collège de France, http://books.openedition.org/cdf/3607). Elle est également disponible en audio et en vidéo sur le site internet du Collège de France : http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/inaugural-lecture-2013-12-19-18h00.htm) [NdÉ].

ou de travaux sur de longues périodes sur le terrain. Elle est en fait l'ensemble des relations établies par les êtres vivants, entre eux et avec leur environnement. C'est tout simplement la fraction vivante de la nature !

Depuis 570 Ma, on a mis en évidence une soixantaine de « crises d'extinction », dont cinq particulièrement prépondérantes, la plus aiguë s'étant déroulée vers 252 Ma, entre permien et trias (charnière paléozoïque/mésozoïque), avec l'extinction de 96 % des grandes espèces, aussi bien dans l'océan que sur les continents. Actuellement, la biodiversité est menacée par quatre grands phénomènes dans lesquels l'humanité a bien sa part : la destruction et la contamination des milieux naturels, la prédation en excès et la surexploitation des ressources naturelles, les introductions anarchiques d'espèces d'un milieu à un autre et, enfin, le réchauffement climatique. Après la conquête du feu (vers 800 000 ans), la fin du nomadisme au Néolithique (12-8 000 ans) associée au développement de l'agriculture et de l'élevage et, plus tard, l'invention de la machine à vapeur (fin XVIII^{e}), l'humain a été de plus en plus impactant sur les milieux naturels et les a profondément transformés. En réalité, nous ne faisons aujourd'hui que prolonger et accélérer ce mouvement, amplifié par la démographie et l'idée délétère « d'asservissement » de la nature. En trois à quatre siècles, l'humanité aura épuisé la totalité des ressources combustibles fossiles accumulées durant des centaines de millions d'années et, aujourd'hui, les espèces vivantes disparaissent de la planète à un rythme de 100 à 300 fois supérieur au taux d'extinction « naturel » attendu. Ceci a amené certains à se demander si l'humain n'était pas en train de mettre en place les conditions d'une sixième crise massive d'extinction ! Nous sommes confrontés à des prévisions de plus en plus précises d'un épuisement des ressources finies, dans le monde fini qui est le nôtre. Seules les ressources vivantes sont renouvelables mais, bien souvent, l'humain les surexploite et dépasse alors les « seuils de renouvelabilité ».

Alors, pourquoi faut-il impérativement enrayer cette érosion de la diversité biologique ? Tout simplement parce que nous ne pouvons pas nous en passer, nous en sommes constitués et nous la côtoyons en permanence ! Les services qu'elle nous rend sont incontournables. En 2002, à Johannesburg, les Nations unies avaient fixé l'année 2010 pour l'arrêt de cette érosion. Pourtant, en janvier 2010, lors de la conférence d'introduction de l'année dédiée à la biodiversité à l'Unesco à Paris, nous avons collectivement constaté que nous avions échoué. Nous avons alors décidé de repousser l'échéance à 2020 et de consacrer la décennie 2010-2020 au sauvetage de la biodiversité. Mais pourquoi réussirions-nous mieux entre 2010 et 2020 ce que nous avons été incapables d'organiser entre 2002 et 2010 ? Projet réaliste ou rêve insensé ? C'est une question que nous nous étions déjà posée lors du premier colloque du Collège de France à l'étranger, à Bruxelles, en 2006. Dans ce cadre, l'apport des sciences participatives est très substantiel, tant pour fournir des données aux chercheurs qui ne peuvent être présents partout et tout le temps, que pour responsabiliser grand public et « amateurs » et, collectivement, faire pression sur les acteurs d'un développement insoutenable.

Par les changements de tous ordres qu'il déclenche depuis deux siècles et en accélération croissante, l'humain crée certainement, en ce moment même, des conditions favorables aux apparitions d'espèces, mais, comme il détruit les écosystèmes au fur et à mesure, le constat risque d'être bien consternant. L'humain, avec son cortège d'activités, ses plantes et ses animaux domestiques, est devenu la plus puissante force évolutive s'exerçant sur la nature. Nous sommes entrés dans l'anthropocène. Nous réfléchissons aux limites d'adaptabilité des écosystèmes et de

l'humain lui-même. Pourra-t-il tout simplement s'adapter à lui-même ? Le capital naturel ne peut indéfiniment être appauvri et nous ne pouvons pas nous passer des services rendus par les écosystèmes. En estimant les vitesses d'évolution, en tentant de prédire les trajectoires possibles et en planifiant les mécanismes à l'avance, nous pourrions sans doute fortement réduire notre impact sur les espèces et les écosystèmes, et sérieusement améliorer les coûts économiques et sociaux de nos activités sur la nature. Une prise de conscience généralisée est en cours mais le changement de nos habitudes suivra-t-il un rythme au moins aussi rapide que celui des changements environnementaux de tous ordres que nous déclenchons autour de nous ? Ce n'est pas sûr. Saurons-nous pleinement justifier, et enfin mériter, au cours de ce XXIe siècle, ce terme de « *sapiens* » dont nous nous sommes affublés ?

Cours [b]

Cours 1. Des origines de la vie aux sorties de l'océan

7 janvier 2014

L'eau est indispensable à la vie sous sa forme liquide et toutes les cellules vivantes sont constituées d'eau : un bébé humain à la naissance contient 75 % d'eau, les adultes entre 60 et 66 %, un cerveau humain 80 % !

La vie naît dans l'océan ancestral vers 3 850 Ma, issue d'une chimie pré-biotique, et poursuit une longue vie unicellulaire et sans reproduction sexuée durant des centaines de millions d'années. C'est dans l'océan que les quatre grands évènements biologiques se produisent : apparition du noyau et de la cellule eucaryote vers 2200 Ma, captures de cyanobactéries ambiantes et différenciations en mitochondries et plastes (2100 et 1400 Ma), apparition de la pluri-cellularité vers 2100 Ma et, enfin, développement de la sexualité vers 1500 Ma.

Les mécanismes de la spéciation ont été décrits ainsi que la notion d'espèce, plus floue aujourd'hui avec l'éclairage des méthodologies modernes. Les spéciations intenses se sont toujours produites lors de changements extérieurs importants, selon la célèbre théorie des « équilibres ponctués » de Gould et Eldredge (1993) [1]. Chez les bactéries, la notion d'espèce n'est pas évidente, sans parler des virus qui évoluent tellement plus vite. Or, il ne faut jamais oublier la prévalence des micro-organismes sur cette planète : les bactéries et virus sont partout, si ce n'est dans les laves de volcans.

Cours 2. De la vie littorale à l'invention de l'agriculture

14 janvier 2014

La vie passe ensuite par la barrière littorale et des analogies ont été établies avec la régulation anisosmotique extracellulaire (les milieux intérieurs et intracellulaires

b. Les enregistrements audio et vidéo du cours sont disponibles sur le site internet du Collège de France : http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/course-2013-2014.htm [NdÉ].

1. Gould S. J. et Eldredge N., 1993. « Punctuated equilibrium comes of age », *Nature*, vol. 366, no 6452, 223-227, DOI : 10.1038/366223a0 ; Boeuf G., 2013b. « Que retenir des grandes crises ? », *DocSciences*, CRPD de l'Académie de Versailles/Muséum d'histoire naturelle (MNHN), vol. 16, no 2, 16-25.

ont toujours la même osmolarité, quelle que soit celle du milieu extérieur) apparue chez les crustacés vers 570 Ma. L'osmolarité des eaux saumâtres côtières et estuariennes est la même que celle du sang. La vie sort ainsi de l'océan sous plusieurs formes, en différents endroits et à différentes périodes, vers 450 Ma pour la vie métazoaire élaborée. La régulation hydrominérale, d'isosmotique à anisosmotique, jouera un rôle fondamental dans les capacités adaptatives des animaux. La plasticité du vivant et ses capacités de réaction lui permettront plus tard de revenir à l'environnement océanique, par exemple vers 52 Ma chez les cétacés.

Depuis 570 Ma, les grandes crises, ont été de l'ordre d'une soixantaine, avec cinq crises prépondérantes, la plus intense entre permien et trias vers 252 Ma. Toutes sont multifactorielles et sont très pertinentes à étudier pour tenter de préciser les modalités de la situation actuelle.

Les hominidés émergent vers 3 Ma et vont commencer à fortement impacter leur environnement après la domestication du feu, vers 800 000 ans, puis la sédentarisation au Néolithique au cours du réchauffement global post-glaciation vers 18-12 000 ans. La sédentarisation fait suite à une accélération de la démographie et sont alors jetées les prémices de l'agriculture. L'humain chasseur-cueilleur nomade devient agriculteur et sédentaire à partir de quelques plantes choisies parmi les espèces « sauvages » et petit à petit « domestiquées » et transplantées partout (5 d'entre-elles aujourd'hui représentent plus de 50 % de la consommation !). Au tout début, mêlées aux plantes « sauvages », les espèces d'intérêt sont sélectionnées, transformées, avec les cultivars au XIX^e^ siècle. Après le XVI^e^ siècle, les apports du nouveau monde (tomate, pomme de terre, maïs, haricot, courgette, fraise, etc.) vont s'ajouter aux premières espèces retenues (blé, riz, orge, seigle, etc.). Les apprentissages de culture se feront selon un axe est-ouest dans le vieux monde, nord-sud dans le nouveau.

Cours 3. De la domestication à la révolution industrielle, l'anthropocène

28 janvier 2014

La première espèce domestiquée par l'humain a été le loup, devenu chien, puis suivront chat, chèvre, vache, porc, mouton et, plus tard, cheval, dromadaire, poule, canard et lapin. Aux mammifères et oiseaux s'ajouteront ensuite les poissons d'eau douce et les invertébrés aquatiques (huîtres, moules, etc.) et, tout récemment, les crevettes et les poissons marins. La dynamique malthusienne-darwinienne des trajectoires des civilisations s'inscrit dans le progrès technologique des inventions [2], de l'arc, de la flèche et de la roue, aux métaux et à la poudre noire, des routes aux vaccins, antibiotiques et ordinateurs. La grande invention, à la fin du XVIII^e^ siècle, sera la machine à vapeur qui nous fera basculer de l'époque « cheval animal » à « cheval vapeur » avec, immédiatement, l'accélération croissante des besoins énergétiques en combustibles fossiles, charbon et pétrole.

La question est régulièrement posée du nombre d'espèces existantes sur la Terre aujourd'hui et de l'impact des activités humaines sur l'évolution du monde vivant. Un fort gradient pôle-équateur apparaît, avec de plus en plus d'espèces quand on

2. Nekola J. C. *et al* ., 2013. « The Malthusian-Darwinian dynamic and the trajectory of civilization », *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 28, n °3, 127-130, DOI : 10.1016/j.tree.2012.12.001.

se rapproche de l'équateur et les répartitions des êtres vivants sont très hétérogènes. Les notions de « *hot spot* » et de « mégadivers » [3] ont beaucoup été discutées. Plus de 2 millions d'espèces sont aujourd'hui décrites et déposées dans les musées d'histoire naturelle mais il en reste au moins 5 à 10 fois plus à découvrir. Se pose alors la question de l'accélération de leur extinction et de la rentrée dans l'anthropocène [4]. En 2001, S. Palumbi [5] attirait l'attention sur la prédominance des activités humaines sur l'évolution du vivant et, en novembre 2011, un collectif d'auteurs alertait : « Le "sauvage" s'en va ! », dans la revue *Science*. Les exemples emblématiques de la mer d'Aral et de l'île de Pâques ont souvent été utilisés pour convaincre. Nous assistons aujourd'hui aux prévisions de l'épuisement des ressources finies, certaines dans un futur proche, et à l'accélération de nos besoins en énergies, dont encore beaucoup trop de ressources fossiles. La publication en 2005 des travaux collectifs de l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (*Millenium Ecosystem Assessment*) a mis l'accent sur la notion de « services rendus par les écosystèmes » et reprécisé les vitesses d'extinction des espèces [6].

Les quatre grandes causes de l'érosion de la biodiversité sont la destruction et la pollution des milieux naturels, la surexploitation des stocks (pêche et déforestation par exemples), la dissémination anarchique des espèces dont certaines se révèlent invasives par la suite et enfin le dérèglement climatique dans lequel l'humain a bien sa part.

Cours 4. L'érosion de la biodiversité dans l'océan

4 février 2014

Alors que l'océan représente aujourd'hui plus de 90 % du volume offert à la vie, il n'abrite pas plus de 13 % des espèces connues, tous groupes confondus. Ceci pourrait être dû à notre méconnaissance de ce gigantesque milieu mais ce n'est pas tout. Par sa connectivité et son incroyable stabilité depuis 120 Ma, l'océan « diversifie » moins que les continents. Exclusivement océanique au démarrage, la vie a ensuite conquis les continents et a explosé dans les grandes forêts tropicales humides. La coévolution plantes à fleurs-pollinisateurs a joué un rôle considérable.

L'océan est aujourd'hui menacé par les activités humaines, le réchauffement de la masse d'eau et la fonte des glaces polaires, l'acidification globale, la surexploitation des stocks, la destruction des écosystèmes littoraux, les pollutions massives dont ces monstrueux « continents de plastique », les disséminations anarchiques d'espèces dont ces 12 milliards de tonnes d'eau de mer échangées par les tankers géants… cela fait beaucoup ! Et maintenant débutent l'exploitation des grands fonds par la pêche et les permis d'extraction de ressources minérales. Les ressources halieutiques et les débarquements stagnent depuis 25 ans malgré des

---

3. Myers N., Mittermeier R. A., Mittermeier C. G., da Fonseca G. A. B. et Kent J., 2000. « Biodiversity hotspots for conservation priorities », *Nature*, vol. 403, 853–858.

4. Crutzen P. J. et Stoermer E. F., 2000. « The "Anthropocene" », *Global Change Newsletter*, nº 41, 17-18 (en ligne sur : www.igbp.net).

5. Palumbi S. R., 2001. « Humans as the world's greatest evolutionary force », *Science*, vol. 293, n º5536, 1786-1790, DOI :10.1126/science.293.5536.1786.

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

efforts en augmentation constante en matière de détection des animaux et de moyens de capture. On débarque des animaux de plus en plus petits et de moindre valeur. Il est grand temps de passer à une approche écosystémique. L'aquaculture est en revanche de plus en plus productive et a déjà largement dépassé la pêche, en valeur. Mais elle doit être développée en beaucoup plus grande harmonie avec l'environnement et sans gaspillage de protéines. Restent posés les problèmes d'élevages de carnivores, de disséminations d'espèces et d'impacts environnementaux.

On tire aussi du milieu marin de très pertinents modèles pour la recherche fondamentale avec 13 prix Nobel de physiologie et de médecine acquis grâce à « d'apparemment insignifiantes espèces » comme le calmar, la raie torpille, la limace de mer, l'oursin ou l'étoile de mer, et aujourd'hui plus de 25 000 molécules d'intérêt pharmacologique ou cosmétique ! L'exploitation de l'océan doit impérativement être repensée et de vastes zones mises en protection.

Cours 5. L'érosion de la biodiversité sur les continents

11 février 2014

Ici, les questions fondamentales ont trait aux impacts du dérèglement climatique (fonte des glaciers, désertification, aléas météorologiques, etc.), de la pollution de l'air, des sols et des cours d'eau, de la destruction massive des écosystèmes (déforestation, urbanisation, artificialisation des sols, etc.), de la surexploitation (forêts) et de la dissémination d'espèces dont certaines vont se révéler de redoutables invasives (jussie, jacinthe d'eau, *Miconia*, ambroisie, séneçons, etc. ; rats, animaux domestiques dans les îles, etc.). L'urbanisation (en France l'équivalent de la surface d'un département tous les 7 ans) et l'agriculture sont deux facteurs essentiels. Si quelques humains ont pu vivre sans agriculture (5 millions d'humains au début du Néolithique ?), il ne peut y avoir d'humanité (7 milliards aujourd'hui, 9 demain) sans production agricole. Actuellement, le défi est clair : comment produire plus sans augmenter indéfiniment les surfaces agricoles, sans gaspiller l'eau, sans empoisonner le consommateur, sans pesticides et insecticides toxiques, en diminuant les intrants, tout en préservant la biodiversité ? C'est un beau défi pour la recherche, qui passe aussi par la diversification et le maintien des variétés agronomiques. La Terre ne peut devenir un unique et gigantesque agrosystème et, par ailleurs, on doit pouvoir alimenter demain 9 milliards d'humains de manière plus équitable qu'aujourd'hui.

La forêt tropicale disparaît au rythme du quart de la superficie de la France par année. 93 % de la forêt « ancestrale » européenne ont disparu mais beaucoup de replantations ont lieu aujourd'hui, pas toujours avec les mêmes espèces. Les trois grands « bassins forestiers » du monde, Amazonie, Bornéo, Papouasie et Congo, sont menacés par la pression démographique et l'avancée de l'agriculture sur brûlis. Madagascar a perdu plus de 80 % de la forêt originelle qui existait à l'arrivée des humains il y a 20 000 ans. Nous devons également beaucoup plus faire avancer nos connaissances des sols. Plantes et animaux se déplacent sous l'influence du réchauffement, mais tout va trop vite et ils n'ont pas le temps de « faire la route ». La disparition des grands carnivores prédateurs, des pollinisateurs, des oiseaux, etc., ont des conséquences catastrophiques sur les écosystèmes et leurs capacités de résistance et de résilience.

Cours 6. Biodiversité, la ville et la santé

18 février 2014

Ce sujet moins connu prend de plus en plus d'importance. Depuis 2007, l'humain vit majoritairement en ville. Cessons d'imaginer la ville comme un « espace strictement non naturel » sorti des écosystèmes « sauvages » et à l'écart de tout. Il est vrai qu'au début, l'humain détruit et s'installe mais, rapidement, la biodiversité revient et tire parti de nouveaux milieux très spécifiques, comme ces nouvelles espèces de moustiques apparues récemment dans le métro londonien ! Le vivant tire parti de la verticalité, de la température souvent plus clémente en hiver, de l'usage moins massif de produits phytosanitaires, de l'absence de prédateurs et de la présence de… beaucoup d'humains ! Ceci ne va pas être sans conséquence pour la propagation des maladies infectieuses. Prônons le retour de la biodiversité en ville et la « verdisation » des villes, le maintien de trames, vertes et bleues, le développement des sciences participatives, de la bio-inspiration, etc. Une véritable écologie urbaine avec tous les aspects énergétiques sous-jacents doit être développée, qui permettra l'essor de nouvelles pratiques et technologies vitales pour le bien-être des humains.

En matière de santé publique, les exemples se multiplient depuis peu qui démontrent les impacts du dérèglement climatique et des pertes de biodiversité, comme le développement parfois spectaculaire de maladies infectieuses, auto-immunes et allergiques. Un appauvrissement de la biodiversité entraîne une disharmonie des systèmes et des conditions bien plus grandes de dissémination et de virulence des pathogènes. Les métapopulations d'eucaryotes microbiens semblent ubiquistes. Les pertes de biodiversité favorisent la dissémination des parasites. Le récent intérêt pour l'évolution du microbiote intestinal chez l'humain amène à des découvertes étonnantes et majeures : 300 maladies (certaines dues à la durée de vie) sont apparues chez l'humain depuis 1940. Fièvre jaune, fièvre d'Ebola, dengue, chikungunya, paludisme, SRAS, leishmanioses, tripanosomiases, borréliose de Lyme, hantaviroses, leptospirose, etc., sont des pathologies très dépendantes des fluctuations de la biodiversité : les changements d'hôtes sont déterminants à suivre et étudier. Maladies auto-immunes et allergiques sont également en explosion et fort préoccupantes.

Cours 7. Pourquoi sauvegarder la biodiversité ? Questions de gestion et de protection

26 février 2014

Un article emblématique paru dans la revue *Nature* [7] a fait le point sur les grandes menaces pesant aujourd'hui sur la planète et sur l'humanité et les a listé : impacts du dérèglement climatique, acidification de l'océan, affaiblissement de la couche d'ozone, dérèglements des cycles de l'azote et du phosphore, utilisation de l'eau potable, pollution chimique, pollution de l'air par les aérosols, intensification agricole et perte de la biodiversité. Cette dernière apparaît majeure. Les auteurs démontrent les limites de la planète, recommandent à l'humanité de préserver ses

7. Rockström J. *et al*., 2009. « Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity », *Ecology and Society*, vol. 14, nº 2, 32-34.

marges d'adaptation et posent la question de la viabilité du modèle « produire toujours plus, contre le système vivant ». Ce développement durable dont on nous parle en permanence l'est-il pour longtemps ? La biodiversité doit être protégée pour des raisons évidentes de maintien d'une production variée (et qui pourra donc répondre en temps utile aux agressions !), de défense contre la prolifération des espèces invasives, pour son rôle fondamental dans les grands équilibres des géo- et bio-sphères, pour ses apports alimentaires à l'humanité, ses apports en molécules variées (pharmacologiques, sondes, cosmétiques…), etc. Le rapport de synthèse de l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire a ainsi classés les services rendus par la biodiversité en services d'approvisionnement, de régulation, culturels et de soutien [8].

Cette biodiversité disparaît à une vitesse effarante, toujours en accélération en raison des faits évoqués antérieurement. L'état de la biodiversité, les pressions qu'elle subit et les bénéfices que l'humain peut en tirer changent considérablement. Certains annoncent même une sixième grande crise d'extinction [9] ou un ensemble de civilisations à « ré-étalonner » [10]. Pouvons-nous éviter l'effondrement ? De grandes conférences internationales ont eu lieu, à Rio en 1992 et 2012, à Johannesburg en 2002, en France en 2005 et 2010, à Nagoya en 2010, etc. La France a organisé deux conférences environnementales en 2012 et 2013 durant lesquelles les questions de biodiversité ont été abordées et elle prépare aujourd'hui une loi sur la biodiversité associée aux nouvelles lois sur la transition énergétique et la transition écologique. La liste rouge des espèces menacées est publiée tous les ans par l'Union internationale pour la conservation de la nature (*International Union for Conservation of Nature*, IUCN) et cette liste s'allonge sans cesse. Mais y sont surtout considérées les plantes et les espèces animales emblématiques (tigre, panda, ours polaire, etc.), car nous n'avons que peu d'informations sur toutes les autres, les insectes ou les invertébrés marins, par exemple, ou encore les champignons ou les lichens.

Cours 8. Futur de la biodiversité : quelles mesures à prendre ?

5 mars 2014

Le dernier cours a été consacré aux interactions biodiversité/écologie/économie. Comment réconcilier écologie et économie comme le défendaient Robert Barbault et Jacques Weber [11] ? Et comment continuer ainsi dans un monde dans lequel 20 % des humains gèrent et consomment 80 % des ressources ? Madame Gro Harlem Brundtland, alors Premier ministre de la Norvège et chargée par l'ONU de la

8. *Millennium Ecosystem Assessment,* 2005.

9. Barnosky A. D. *et al*., 2012. « Approaching a state shift in Earth's biosphere », *Nature*, vol. 486, nº 7401, 52-58, DOI : 10.1038/nature11018 ; Ceballos G., Ehrlich P.R., Barnosky A.D., Garcia A., Pringle R.M. et Palmer T.M., « Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction », *Science Advances*, 5, 19 juin 2015, e1400253 e1400253, DOI : 10.1126/sciadv.1400253.

10. Ehrlich P. R. *et al*., 2012. « Securing natural capital and expanding equity to rescale civilization », *Nature*, vol. 486, nº 7401, 68-73, DOI : 10.1038/nature11157.

11. Barbault R. et Weber J., 2010. *La Vie, quelle entreprise ! Pour une révolution écologique de l'économie*, Paris, Seuil, coll. « Science ouverte », 196 p.

présidence de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, écrivait en 1987 :

> Le développement durable c'est un développement qui satisfait les besoins de la génération présente tout en préservant pour les générations futures la possibilité de satisfaire les leurs. [12]

Les économistes se sont emparés du schéma de Rockström (2009), discuté lors du cours précédent, et tentent de l'aborder avec des outils économiques. En fait, le problème consiste à passer activement d'une vision économique anthropocentrée à une vision écocentrée. Le paradoxe de notre société est que l'inégal accès à la consommation conduit riches et pauvres à aspirer à la poursuite de la croissance. Par ailleurs, l'horizon des décideurs politiques demeure très court, la prochaine élection ayant lieu dans quelques mois ou quelques années. Enfin, en économie « classique », la nature n'a pas de valeur en elle-même, elle en acquiert uniquement à travers le travail humain. Il faut donc basculer dans un autre système où l'on tient compte de la valeur des services écosystémiques. Il nous faut absolument élaborer de nouveaux indices du développement et de la croissance qui tiennent également compte du bien-être des humains :

> […] aller vers une vraie économie verte, c'est-à-dire propre à satisfaire les besoins de toute l'humanité sans détruire les bases naturelles de la vie, suppose des transformations bien plus profondes de nos modes de production et de consommation que ce qui nous est proposé aujourd'hui. Des transformations qui, loin de nous faire vivre moins bien, pourraient au contraire nous permettre de vivre mieux […] [13]

Robert Barbault écrivait en 2010 :

> On les a longtemps pris pour des compteurs de papillons et de grands sentimentaux, les défenseurs de la biodiversité... Mais celle-ci n'est pas l'apanage de poètes romantiques. Fruit de milliards d'années d'évolution, c'est elle qui a permis le succès de la vie sur Terre y compris de l'espèce humaine. Qu'elle prenne la forme de choux, de carottes, d'oiseaux ou de vermisseaux, elle conditionne notre futur et nous ne pouvons nous en passer. Nier cette évidence nous expose à des lendemains bien sombres… À l'évidence, la dégradation de la biodiversité nous renvoie à nos dysfonctionnements en tant qu'espèce sociale et c'est principalement notre dimension humaniste qu'elle remet en cause…

Un beau travail sorti dans la revue *Science* [14] a analysé le fait de prendre en compte la valeur des services écosystémiques dans la gestion des usages des terres au Royaume-Uni et conclu à un rendement bien meilleur à long terme que dans l'agriculture actuelle, tout en préservant la biodiversité. La planification écologique n'a pas vocation à remplacer le marché, mais à l'encadrer là où il se montre inefficace, disait James K. Galbraith en 2012, et il faut aujourd'hui transformer l'économie pour vivre mieux en consommant moins.

---

12. Brundtland G. H., 1987. « Avant-propos », *Notre avenir à tous*, Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des nations unies

13. Frémeaux P., 2013. *Alternatives économiques*, nº 61 : *L'économie verte en trente questions*, 157 pages.

14. Bateman I. J. *et al*., 2013. « Bringing ecosystem services into economic decision-making: land use in the United Kingdom », *Science*, vol. 341, nº 6141, 45-50, DOI : 10.1126/science.1234379.

Le développement des sciences participatives [15] et les approches de bio-inspiration [16] sont des outils très intéressants et efficaces pour améliorer la situation et harmoniser les relations Homme-Nature. Les vraies richesses sont d'abord le produit de l'intelligence humaine et de la connaissance, qui peut s'accumuler sans fin, du partage et de l'humilité ! Nos possibilités techniques sont sans commune mesure avec ce que nous avons connu auparavant, alors mettons tout cela en musique et méritons enfin ce terme de « *sapiens* » dont nous nous sommes affublés !

Séminaires [c]

Trois séminaires ont été donnés, à la suite des cours, les 11, 18 et 26 février 2014.

Séminaire 1

« Expansion phénotypique, optima et limites de développement », Jean-François Toussaint (Institut de recherche biomédicale et d'épidémiologie du sport, IRMES, Paris).

Le professeur Toussaint a développé ses approches sur les performances sportives de haut niveau et ses réflexions sur les limites des systèmes.

Séminaire 2

« Evolution of Vision », Walter Gehring (*Biozentrum*, université de Bâle, Suisse).

Le professeur Gehring a présenté ses travaux sur la genèse de l'œil au cours de l'évolution.

Séminaire 3

« Transport et biodiversité, une simple histoire de hérisson ? », Bruno David (laboratoire Biogéosciences, université de Bourgogne).

Conférence pour les lycéens parisiens au Collège de France.

Dans le cadre des accords avec le rectorat de l'Académie de Paris, une conférence d'une heure a été donnée face à des lycéens parisiens sur le thème « L'humain dans la biodiversité » le 4 avril 2014.

Colloque. L'Homme peut-il s'adapter à lui-même ? Options futures et marges d'adaptation [d]

De tout temps, l'homme a modifié l'environnement à son profit. Cependant, l'ampleur de ces changements, leur accélération dans ces dernières années et les

---

15. Boeuf G., 2013a. « Une nouvelle approche pour les sciences : la participation des citoyens », *in* Euzen A., Eymard L. et Gaill F., *Le Développement durable à découvert*, Paris, Éditions du CNRS, chap. 28, 276-277.

c. Les enregistrements audio et vidéo des séminaires sont disponibles sur le site internet du Collège de France : http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/_seminar.htm [NdÉ].

d. Les enregistrements audio et vidéo du colloque sont disponibles sur le site internet du Collège de France : http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/symposium-2013-2014.htm [NdÉ].

16. Boeuf G., « Biomimétisme et bio-inspiration », *Vraiment durable*, fasc. 5/6, 2015, 43-55, DOI : 10.3917/vdur.005.0

contraintes qu'ils entraînent désormais posent de nouvelles questions. Les conséquences de ces changements rapides impactent autant la santé humaine que la biodiversité : avons-nous les capacités pour les accepter et nous y préparer sereinement ou réagirons-nous à nouveau par le déni ?

Situant les bénéfices acquis lors de notre développement récent et leurs effets secondaires sur l'échelle des indicateurs de santé globale et d'évolution, le colloque a cherché à poser les bases scientifiques de nos marges d'acceptation face à la montée des contraintes de toutes natures. Il a dressé l'inventaire des ressources physiologiques, sociales et culturelles au sein du vivant et contribué à définir de nouvelles perspectives en matière de recherche et de décision publique.

Organisé les 22 et 23 mai 2014, le colloque a été ouvert par la ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Madame Ségolène Royal et introduit par Monsieur Serge Haroche, administrateur du Collège de France.

Les intervenants ont été : Gilles Boeuf, Hubert Reeves (Humanité & Biodiversité), Bernard Swynghedauw (Inserm), Yves Coppens (Collège de France), Evelyne Heyer (Muséum national d'histoire naturelle, MNHN), Lionel Naccache (hôpital de la Pitié-Salpêtrière, UPMC), Boris Cyrulnik (université de Toulon), Guillaume Lecointre (MNHN), Philippe Frémeaux (*Alternatives économiques*), Philippe Cury (IRD), Daniel Nahon (CEREGE, Aix-Marseille université), Valérie Masson-Delmotte (CEA), Bruno David (Laboratoire Biogéosciences, université de Bourgogne), Gérard Mestrallet (GDF Suez), Arnaud Chaperon (Total), Hervé Le Bras (EHESS, INED, Collège d'études mondiales), Daniel Cohen (École normale supérieure), Claude Grison (CNRS, université de Montpellier 2 – STRATOZ), Jean-François Toussaint (IRMES), Bernard Chevassus-au-Louis (INRA), Philippe Descola (Collège de France), Jean-Claude Ameisen (Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé), Chantal Jouanno (Sénat) et Erik Orsenna (Académie française).

Travaux de recherche

Le professeur Gilles Boeuf a poursuivi son activité scientifique sur deux plans, celui de la recherche fondamentale menée avec J. Falcón, au sein de l'UMR Biologie intégrative des organismes marins, laboratoire Arago, observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer, sur la thématique de la physiologie environnementale et de la neuroendocrinologie et, le second, à la présidence du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris.

(1) À Banyuls, les travaux de Gilles Boeuf portent sur la neuroendocrinologie en relation avec la physiologie environnementale chez divers modèles de poissons. Les objectifs depuis 2007 sont de comprendre :

– les modalités de l'apparition des AANAT (Aryl-alkylamine-N-acétyl transférases, enzymes impliquées dans la conversion de la sérotonine en mélatonine, l'hormone rétinienne et épiphysaire « donneuse de temps ») de vertébrés et de la disparition de celles des invertébrés à la transition prochordés / Agnathes / Gnathostomes et, par extension, de celles de l'apparition du signal donneur de temps, la mélatonine, chez les vertébrés ;

– les modalités de la dichotomie des AANAT propre aux poissons téléostéens ;

– les caractéristiques structurales (structure primaire, secondaire et 3D) et fonctionnelles (cinétique) des AANAT et en particulier des adaptations à l'environnement thermique chez les poissons.

(2) Son activité essentielle au Muséum a eu trait à la programmation scientifique de l'établissement, à l'évaluation de ses activités de recherche et d'enseignement, à l'établissement des partenariats scientifiques, à sa représentation scientifique en France et à l'étranger et, enfin, à une activité de synthèse scientifique sur les questions de biodiversité. Il préside également le conseil d'administration de l'établissement.

En 2013, Gilles Boeuf a donné plus de 80 conférences en France et dans le monde, devant tous types de publics : écoles doctorales, laboratoires de recherche, institutions, entreprises privées, collectivités territoriales, grand public, etc., essentiellement dans les domaines de la biodiversité, de la physiologie environnementale, de l'eau dans les systèmes biologiques, de la vie dans les océans et des ressources vivantes associées. Il a également écrit, soit des articles scientifiques dans les revues internationales, soit des réflexions de synthèse ou des articles de vulgarisation scientifique.

PUBLICATIONS

Articles originaux dans des revues avec comité de lecture

CAZAMEA-CATALAN D., MAGNANOU E., HELLAND R., BESSEAU L., BOEUF G., FALCON J. et JORGENSENE H., « Arylalkylamine *N*-acetyltransferase-2 polymorphism in Salmonids and plasticity of enzyme activity in response to temperature: A new perspective », *J. Exp. Biol.,* 216, 2013, 1938-1948.

MARCK A., BERTHELOT G., BILLAUD E., BOEUF G., MASSON-DELMOTTE V. et TOUSSAINT J.F., « Les piliers d'un nouvel humanisme : plafonds ou transition, quel à-venir à la crise ? », *Futuribles*, 397, 2013, 21-34.

BESSEAU L., FUENTES M., SAUZET S., BEAUCHAUD M., CHATAIN B., COVES D., BOEUF G. et FALCON J. . 2013. « Somatotropic axis genes are expressed before pituitary onset during zebrafish and sea bass development », *General and Comparative Endocrinology*, 194, 133-1.

FALCON J., COON S.L., BESSEAU L., CAZAMEA-CATALAN D., FUENTES M., MAGNANOU E., PAULIN C.H., BOEUF G., SAUZET S., JORGENSEN E.H., MAZAN S., WOLF Y.I., KOONIN E.V., STEINBACH P. J., HYODO S et KLEIN D. C., 2014. « Drastic neofunctionalization associated with evolution of the "timezyme" AANAT 500 million years ago », *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, 111(1), 314-319.

Chapitres de livres ou livres

GOULLETQUER P., GROS P., BOEUF G. et WEBER J. (coordinateurs), *Biodiversité en environnement marin*, Éditions Quae, Versailles, 2013, 207 p.

BOEUF G., « Très long terme et évolution du vivant » dans *Regards croisés sur la gouvernance du très long terme*, La documentation française, 2013, 13-17.

BOEUF G., « Base des connaissances en biodiversité, la taxinomie aujourd'hui et demain pour la durabilité environnementale et le bien-être humain, une introduction » dans *Tracking key trends in biodiversity science and policy*, Unesco Biodiversity Initiative, 2013, 10-13.

BOEUF G., « Une nouvelle approche pour les sciences : la participation des citoyens » dans *Le développement durable à découvert*, EUZEN A, EYMARD L. et GAILL F. (dir.), Éditions du CNRS, chap. 28, 2013, 276-277.

BOEUF G., « Vulnérabilité du système océanique » dans *Océan, biodiversité et ressources,* Hermès, ISTE Éditions, London, 2014, 19-48, ISBN 978-1-78405-6.

BOEUF G., *La biodiversité, de l'océan à la cité,* Paris, Collège de France/Fayard, coll. « Leçons inaugurales du Collège de France », nº 241, 85 p., ISBN 978-2-213-681278-1.

BOEUF G., *La biodiversité, de l'océan à la cité,* Paris, Collège de France, coll. « Leçons inaugurales du Collège de France », nº 241, 2014. URL (texte intégral) : http://books.openedition.org/cdf/3610.

GOULLETQUER P., GROS P., BOEUF G. et WEBER J., *Biodiversity in the marine environment. Springer*, London, 198 p., 2014, ISBN 978-94-017-8565-5.

BOEUF G., *Foreword. In Cultivating biodiversity to transform agriculture*, HAINZELIN E. (éd.), Springer, Heidelberg, New York, London, V-VIII, 2014, ISNB 978-94-007-7983-9.

Articles pour le public

BOEUF G., Préface du livre *Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture*, ouvrage du CIRAD, Éditions Quae, 2013, 9-12.

BOEUF G., *L'Homme peut-il s'adapter à lui-même ?*, Valeurs Vertes, 120, 2013, 39.

BOEUF G., Préface du livre *Les invasions biologiques*, LEFEUVRE J.C., Buchet-Chastel, 2013, 9-14.

Interview, *Sciences et Avenir*, 792, février 2013, 42-45.

Interview, *Terra Eco*, 45, mars 2013, 38-40.

Participation à la table ronde, avec TUTENUIT C., BOEUF G., MICHEL J.M., BOUGRAIN-DUBOURG A. et BAUMGARTEN D. : « Défense de la biodiversité et croissance économique, sont-elles compatibles ? », Les rendez-vous des Annales des Mines, 2013, 13 p.

BOEUF G., « Il faut en finir avec la cupidité ! » Interview de *Végétable*, 302, 2013, 4-5.

BOEUF G. « Bio-inspiration », interview de la *Lettre d'information de l'Institut océanographique P. Ricard*, 12, 2013, 3-18.

BOEUF G., « Ouverture », *Actes du colloque Recherches bio-inspirées, une opportunité pour la transition écologique ?*, CGDD, ministère de l'Écologie, 2013, 3-4.

BOEUF G., « AllEnvi doit alerter la société civile sur la crise de biodiversité ! », *Les Echos d'AllEnvi*, 2, 2013, p. 3.

WEBER J. et BOEUF G. Préface de l'ouvrage d'Orée, *La gestion de la biodiversité par les acteurs : de la prise de conscience à l'action*, Orée, CDB, 2013, 3-6.

BOEUF G., « Que retenir des grandes crises ? » dans *Doc Sciences*, CRPD Académie de Versailles/MNHN, 16, 2, 2013, 16-25.

Interview par FOUCART S., « Gilles Boeuf, écologue optimiste », *Le Monde*, 22 janvier 2014, supplément Sciences et Médecine, 2014, p. 7.

Interview par FELET M., « Le rejet de l'interdiction du chalutage en eau profonde est injustifiable », *Naturellement*, 114, 2014, 42-45.

BOEUF G., « À Robert Barbault », *ESpèces*, 14, 2014, 6-7.

BOEUF G., « La biodiversité, un nouveau défi pour l'humanité ? », préface de *Vers le Génie civil écologique*, Publication Eiffage, 2014, 6-9.

Interview par BRUNEL J., « Un droit pour l'animal ? », *L'Express Styles*, 3273, 2014, 74-75.

Interview par KRISTOF C., « La biodiversité, c'est nous ! », *Sources*, 26, 2014, 64-68.

BOEUF G., préface de l'ouvrage *Le roman de la fraise, 300 ans d'aventure*, de Batissou C., chez Françoise Livinec Éditions, p. 2-6, 2014.

BOEUF G., « La mer empoisonnée », *Le 1*, 13, pages centrales.