

*la lettre
de l'Académie
des sciences*

n°31

Dossier

La Biodiversité



ÉDITORIAL**Du G8 au GS. Une contribution renforcée des académies des sciences aux Sommets du G8**

Alain Carpentier

Page 1

DOSSIER La biodiversité**Éloge de la biodiversité**

Philippe Taquet

Page 2

De la paléontologie à la biodiversité : le système vestibulaire un acteur majeur de la transition de la marche terrestre vers le vol ?

Alain Berthoz

Page 4

La biodiversité végétale : une richesse à connaître et à protéger

Christian Dumas

Page 10

La biodiversité animale

Jean-Dominique Lebreton

Page 14

La biodiversité, état de la question et enjeux

Gilles Bœuf

Page 18

La création de l'IPBES par les Nations Unies en avril 2012

Ghislain de Marsily et Michel Petit

Page 22

QUESTION D'ACTUALITÉ**La découverte du boson de Higgs**

Michel Davier

Page 26

LA VIE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES**La déclaration commune du « G-Science » signée par les Académies des sciences de 15 pays**

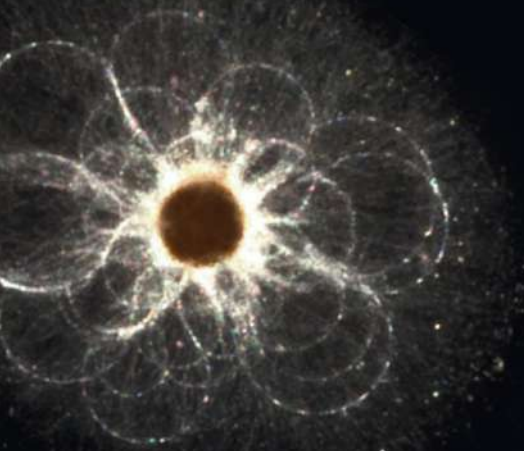
Page 32

Déclaration commune des Académies des sciences pour le Sommet du G8 à Deauville

Page 34

Le Brevet, outil de l'innovation et de la valorisation : son devenir dans une économie mondialisée

Page 36



Du G8 au GS

Une contribution renforcée des Académies des sciences aux Sommets du G8

Par **Alain Carpentier**

Président de l'Académie des sciences,
professeur émérite à l'université Pierre-et-Marie-Curie.

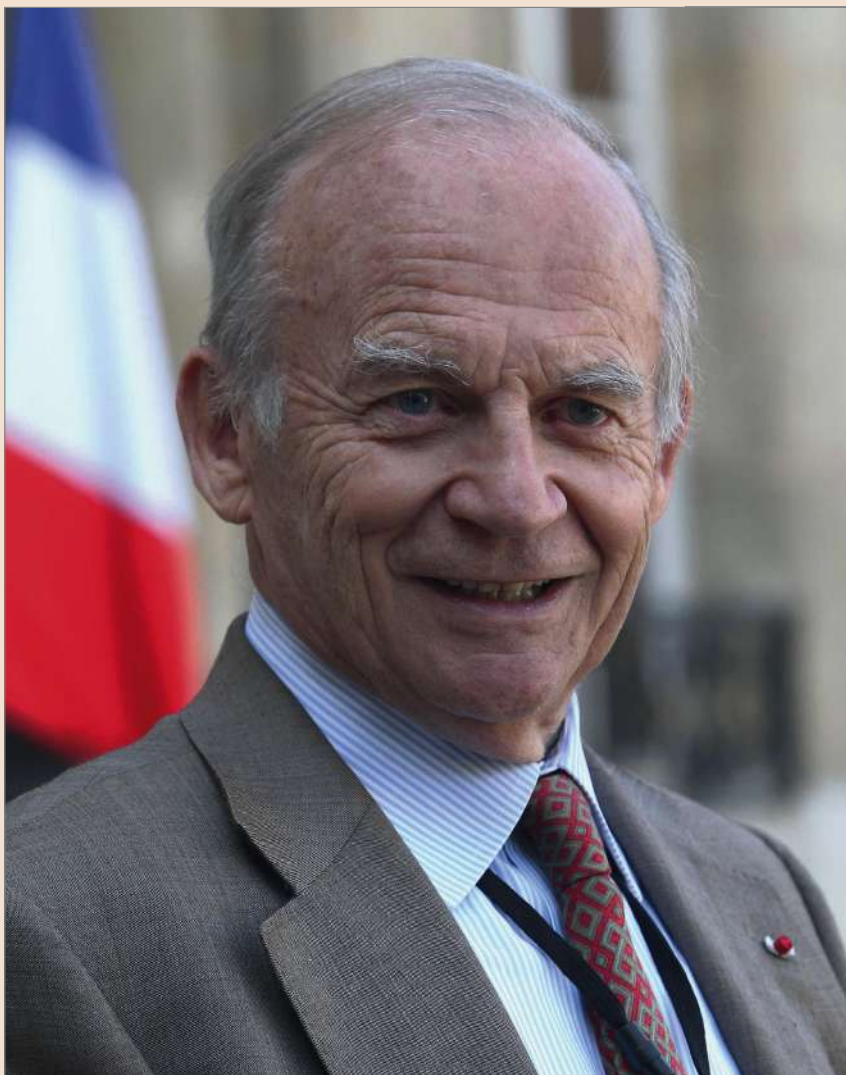
Chaque année, depuis 1975, les chefs d'État et de gouvernement des pays économiquement les plus développés se réunissent de façon informelle pour discuter des grands problèmes économiques de l'heure et des ajustements stratégiques qu'ils impliquent. Composé initialement d'un groupe de cinq pays intitulé « G5 » (Allemagne, États-Unis, France, Japon, Royaume-Uni) réuni à Rambouillet à l'initiative du Président Giscard d'Estaing, le groupe s'accrut de l'Italie et du Canada en 1996, et de la Russie en 1998 pour former le « G8 ».

Ce forum annuel des chefs d'État et de gouvernement, « initialement axé sur l'ajustement des politiques économiques à court terme entre les pays participants, a adopté, depuis, une perspective plus large englobant un grand nombre de questions politiques et sociales, en particulier dans le domaine du développement durable et de la santé à l'échelle mondiale ». Il apparut bientôt que bien des problèmes posés impliquaient des solutions relevant du domaine scientifique et, en 2005, au sommet de Gleneagles en Écosse, le Royaume-Uni proposa d'impliquer les académies des sciences des pays concernés pour procéder chaque année à une réflexion approfondie sur deux ou trois thèmes d'actualité de grande importance socio-économique, réflexion assortie de recommandations adressées aux chefs d'État et de gouvernement avant leur sommet annuel.

Les réunions inter-académiques nourrissant cette réflexion s'inspirent de l'esprit de Rambouillet et des réunions du G8 en cela qu'elles sont informelles et n'impliquent ni administration centralisée ni réglementation statutaire. La caractéristique principale de cette organisation est de n'en pas avoir, laissant à chaque pays d'accueil le soin de l'organisation locale, le choix des thèmes et le suivi des recommandations formulées. Ce caractère informel a permis d'aborder les thèmes d'actualité les plus divers et de réunir au fil des ans, outre les académies membres permanentes, un nombre variable

d'académies invitées (*Tableau 1 : voir l'article p. 35*). Le pays d'accueil élabore un document de base comportant des recommandations précises sur les thèmes retenus. Ce document est amendé et complété par les académies avant la réunion plénière qui a lieu dans le même pays et réunit trois représentants de chaque Académie. Les recommandations finales élaborées au cours de cette réunion sont soumises aux instances décisionnelles de chaque académie qui doivent les valider avant de les adresser aux chefs d'État et de les rendre publiques.

Telle était la situation en 2010, quand ce fut à nouveau le tour de la France d'organiser le G8. Il revenait à notre Académie de proposer des thèmes de réflexion, d'en informer la Présidence de la République, d'arrêter les dates et le lieu de la réunion interacadémique et de choisir les académies à inviter. C'est alors qu'une difficulté inattendue se produisit ; l'un des pays fondateurs émit des réserves sur la composition des pays invités au point de mettre en cause sa propre participation. Fallait-il, dès lors, maintenir la dénomination G8 ou la rétrograder de G8 à G7 ? Pour compliquer l'affaire, nous reçûmes du plus haut niveau de l'État, la recommandation de préférer la dénomination « G20 » pour marquer la nécessité d'élargir le forum aux grands pays émergents. Adopter cette dernière recommandation accroissait les difficultés dans la mesure où certains des pays du G20 ne possédaient pas d'académie des sciences. C'est ainsi que nous fûmes amenés à proposer l'appellation « GS », pour G Science, qui libérait les académies de ces contraintes géopolitiques tout en confirmant leur adhésion à l'esprit et la lettre des groupes G. Cette proposition, qui conférait aux académies des sciences l'espace de liberté nécessaire pour accomplir leur mission, fut agréée par tous les membres présents à la réunion de Paris (Allemagne, Canada, États-Unis, Italie, Japon, Royaume-Uni, Russie, Afrique du Sud, Brésil, Inde, Mexique et Sénégal) et reconfirmée l'année suivante, lors de la réunion interacadémique de Washington, grâce à l'im-



plication personnelle de Ralph Cicerone, Président de la *National Academy of Sciences* des États-Unis. Cette difficulté levée, restaient à réaffirmer la spécificité et à préciser la mission du GS dans la multiplicité des organisations inter-académiques existantes, sans s'opposer à elles.

En matière de missions, tant à Paris qu'à Washington, le groupe a rappelé d'abord quelques principes fondateurs élaborés lors des réunions précédentes, notamment lors de la réunion préparatoire réunie à Londres en septembre 2005 à l'initiative de la Royal Society. Le but recherché est de souligner avec détermination le rôle de la science dans la société, de rendre plus visible l'engagement social et politique des académies des sciences, de renforcer leur rôle de conseil permanent auprès des gouvernements.

En matière d'organisation, le groupe a confirmé son attachement aux modalités actuelles imprégnées de l'esprit du G8: absence de personnalité juridique et d'organisation centralisée permanente; organisation annuelle confiée à l'une des académies membres permanentes du GS.

Le fonctionnement actuel a paru, dans l'ensemble, satisfaisant. Le maintien de l'embargo, jusqu'à la validation par les instances dirigeantes des académies, a été res-

pecté qui a permis une diffusion de la déclaration commune le même jour dans les différents pays.

Une meilleure visibilité a été réalisée grâce à l'accueil des délégations au plus haut niveau, en Italie en 2009 par le Président de la République au Palais de Quirinal, en France en 2011 par le Président Sarkozy au Palais de l'Élysée, à Washington en 2012 par le conseiller personnel du Président Obama à la *National Academy of Sciences*.

Cette année à Washington, le groupe a insisté de plus sur la nécessité d'aborder dans l'avenir des questions d'éthique de la recherche, en développant au sein de chaque académie des comités *ad hoc* si ce n'est déjà fait.

L'impact des recommandations faites par le GS reste difficile à apprécier malgré les efforts faits successivement par les Académies du Canada, de France et des États-Unis. Dans l'ensemble, nombre des propositions faites par le GS sont reprises par les gouvernements ou les grands organismes, même si l'on peut regretter que leurs sources soient trop rarement mentionnées, ce qui rend difficile cette évaluation.

Le GS tient sa légitimité de son lien étroit avec l'esprit et la lettre de l'institution du G8.

Il témoigne de l'importance croissante du rôle de la science dans la société.

Sa mission est d'attirer l'attention des pouvoirs publics sur quelques problèmes socio-économiques de grande importance que la science peut aider à éclairer et résoudre. Le GS implique une relation fonctionnelle étroite avec les autorités gouvernementales. Ses moyens résident principalement dans l'élaboration et la publication d'une déclaration commune sur des sujets d'actualité socio-économique de grande importance.

Sa force tient à la qualité de ses membres, à leur totale liberté d'expression et à l'unanimité conférée à leurs recommandations.

En conclusion, conforté par sa nouvelle appellation et une perception clarifiée de sa mission, le GS continuera d'exercer son rôle d'expertise et de réflexion auprès des chefs d'État et des organisations gouvernementales. Tenant compte du calendrier des prochains sommets des G8-G20, le responsable de la prochaine réunion du GS à New Delhi en 2013 est l'Académie des sciences de l'Inde ■

Éloge de la biodiversité

Par **Philippe Taquet**

Vice-Président de l'Académie des sciences,
professeur émérite au Muséum national d'histoire naturelle.

La biodiversité, résultat de l'évolution biologique, est l'expression de l'immense variété des formes vivantes sur terre, de l'échelle moléculaire à celle de la biosphère; elle englobe tout à la fois la diversité des génomes, des cellules, des organismes, des espèces et des écosystèmes.

Notre espèce, apparue très récemment dans l'histoire de la vie sur terre s'est enrichie, comme le soulignait le Président Théodore Roosevelt en 1908, « de l'utilisation prodigieuse de nos ressources naturelles et nous avons de justes raisons d'être fiers de notre progrès. Mais le temps est venu d'envisager sérieusement ce qui arrivera quand nos forêts ne seront plus, quand le charbon, le fer et le pétrole seront épuisés, quand le sol aura encore été appauvri et lessivé vers les fleuves, polluant leurs eaux, dénudant les champs ».

Si l'on envisage en effet la très longue histoire de notre planète, l'apparition de l'homme n'est pas loin de prendre aux yeux des biologistes la même signification que les grands cataclysmes qui ont jalonné les temps géologiques. Les activités de l'homme, amplifiées par la croissance démographique, représentent en effet une menace pour un grand nombre de formes de vie. Notre confrère Jean Dorst, auteur de l'ouvrage fondateur « Avant que Nature meure » écrivait en 1965 :

« Les transformations rapides des peuplements animaux et végétaux que les documents paléontologiques font apparaître à certaines époques ne sont pas plus importantes que la révolution qui se passe sous nos yeux depuis l'apparition de l'homme sur terre, avec une vitesse et une ampleur sans égales si l'on tient compte de la faible durée au cours de laquelle s'est manifestée l'action de notre espèce ».

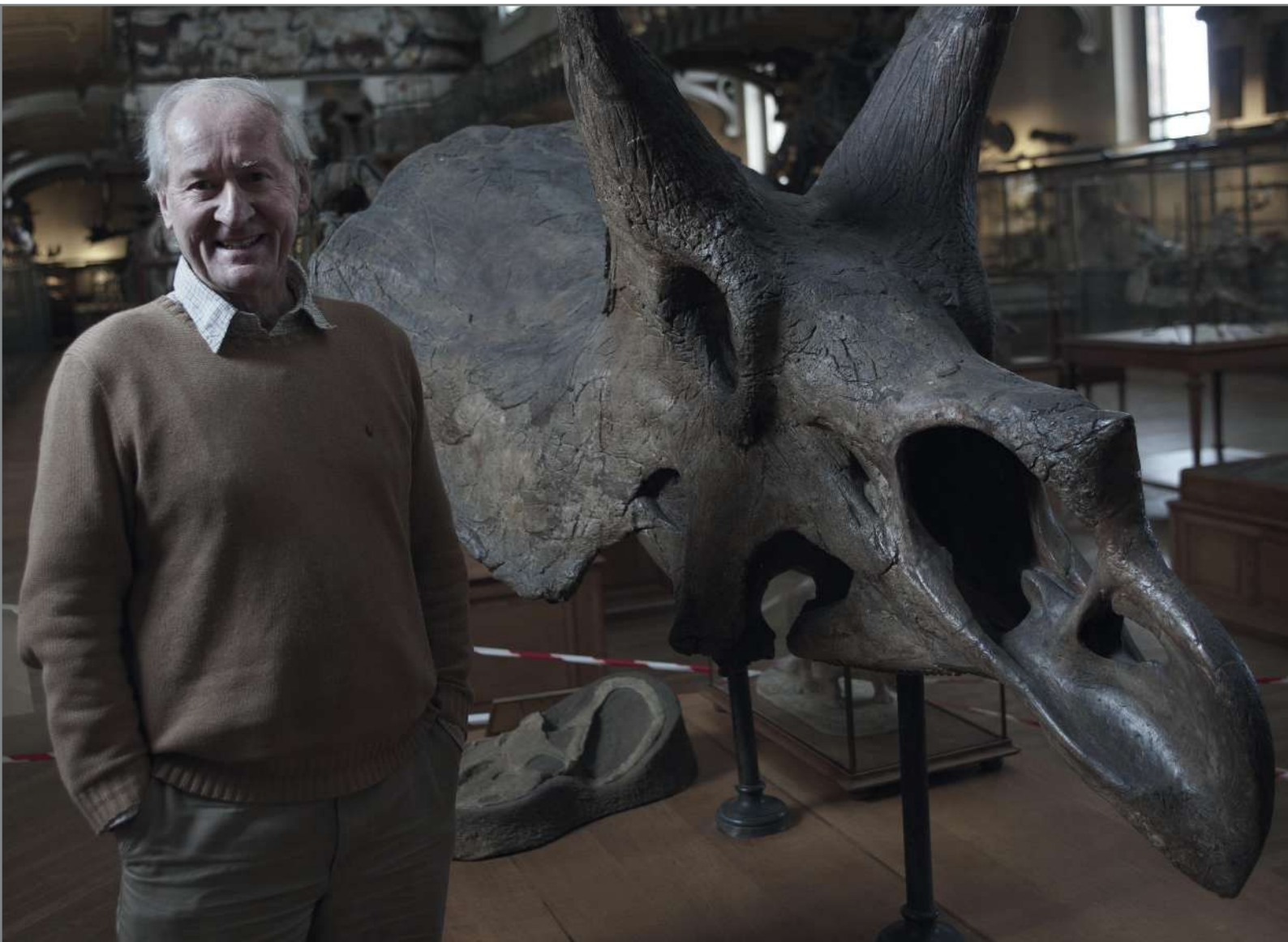
La biodiversité est certes source de nuisances pour l'homme avec les effets désastreux et néfastes des insectes, des champignons, des parasites sur la santé ou sur le rendement des récoltes. Or la préservation de la biodiversité constitue non seulement un enjeu majeur, car celle-ci présente une grande valeur économique et une source de richesses indispensables : ressources énergétiques, ressources alimentaires ou médicamenteuses, matériaux de construction, matières premières, mais aussi parce qu'elle revêt une signification esthétique, éthique et culturelle.

La biodiversité si diverse et si utile à l'homme ! Le microbionte de notre tube digestif héberge 10 000 milliards de

bactéries de plus de 200 espèces différentes; elles sont indispensables à la digestion et on les découvre essentielles à la maturation de notre système immunitaire. Les champignons nous ont permis de découvrir la pénicilline et ses vertus antibiotiques. Les feuilles de l'if du Pacifique ont servi à notre regretté confrère Pierre Potier et à ses équipes de recherche à synthétiser les molécules servant à la fabrication du taxotère l'un des anticancéreux les plus puissants. La filipendule nous a livré l'acide salicylique qui est à l'origine de l'aspirine, le produit pharmaceutique le plus employé dans le monde. L'action bénéfique des insectes pollinisateurs représente une valeur économique considérable. L'utilisation d'une protéine luminescente issue d'une méduse permet des recherches nouvelles sur le VIH. La culture des algues vertes est source de grandes potentialités énergétiques, etc...

Inventaire, classification et suivi de la biodiversité, gestion, conservation, restauration de cette biodiversité, utilisation des ressources génétiques, sont autant d'enjeux offerts aujourd'hui à la communauté scientifique pour répondre aux défis du XXI^e siècle. À cet égard, la décision très récente prise à Panama d'instaurer un Programme international d'étude et de gestion de la Biodiversité (IPBES) marque une bonne prise de conscience de l'humanité. Comment être les acteurs d'une gestion durable de la planète qui nous héberge ? Comment associer les populations des pays tiers aux actions d'inventaire et de mise en valeur de la biodiversité des pays industrialisés ? tels seront les objectifs de la réunion qui se tiendra à l'Académie des sciences sous l'égide du COPED en octobre prochain.

Ce numéro de la Lettre de l'Académie comprend donc un certain nombre d'articles consacrés à la biodiversité et à l'intérêt des recherches dans ce domaine; Gilles Bœuf traite de la biodiversité, de l'état de la question et de ses enjeux, Christian Dumas traite de la biodiversité végétale, Jean-Dominique Lebreton de la biodiversité animale, Alain Berthoz et ses collègues montrent l'intérêt de lier des études de paléobiodiversité à celles de la biodiversité pour la compréhension de fonctions humaines telle celle de l'équilibre; enfin Ghislain de Marsily présente le texte qui a été adopté lors de la réunion de Panama pour l'instauration d'un grand programme mondial d'étude et de préservation de la biodiversité.



Pour conclure, soulignons la justesse de ces quelques lignes du grand spécialiste de la biodiversité qu'est Edward Wilson: «Tout pays possède trois formes de richesse: matérielle, culturelle et biologique. Les deux premières ne nous paraissent pas difficiles à comprendre, car elles forment la substance de notre vie quotidienne. La richesse biologique est une notion prise beaucoup moins au sérieux, et c'est sans doute la raison fondamentale pour laquelle la biodiversité est en crise. Cela représente une erreur stratégique majeure, que nous aurons de plus en plus à regretter dans l'avenir. La biodiversité est une source potentielle de richesse matérielle sous forme d'aliments, de médicaments et d'agréments ».

Libres points de vue d'Académiciens sur la biodiversité, juillet 2010

Des Membres de l'Académie des sciences décrivent de façon indépendante, dans des textes courts illustrés par de nombreux exemples, de multiples facettes de ce sujet: l'importance de la biodiversité en écologie, ses liens avec l'évolution et donc le monde vivant, le rôle qu'y joue l'Homme,

et son influence croissante, l'émergence du concept en microbiologie, notamment dans le domaine de la santé, les avantages que retirent les sociétés humaines de la biodiversité, les inquiétudes suscitées par son érosion accélérée et les conséquences sur de nombreux écosystèmes, etc.

Cet ensemble de plus de 50 contributions, étayées des découvertes scientifiques les plus récentes, apporte, par sa richesse et sa pluralité, un éclairage original sur un enjeu majeur de ce siècle ■

Dossier accessible depuis ce lien :

<http://www.academie-sciences.fr/activite/lpdv.htm>

Jean Dorst. *Avant que Nature meure*. Delachaux et Niestlé. 1965. (Réédition 2012).

Théodore Roosevelt. *Conference on the Conservation of Natural Resources*. 1908.

Douglas Brinkley. *The Wilderness Warrior: Theodore Roosevelt and the Crusade for America*. Harper Collins. 2009.

Edward Wilson. *La diversité de la vie*. Éditions Odile Jacob. 1993.

De la paléontologie à la biodiversité : le système vestibulaire un acteur majeur de la transition de la marche terrestre vers le vol ?

Par **A. Berthoz**

Membre de l'Académie des sciences, professeur au Collège de France.

En coopération avec **R. Allain** Collège de France/CIRB/CNRS,

D. Bennequin Collège de France/CIRB/CNRS, Université

Paris VII, **R. David** Muséum national d'histoire naturelle,

Collège de France/CIRB/CNRS, **J. Droulez** Collège de France/

CIRB/CNRS, **P. Janvier** Muséum national d'histoire naturelle,

P. Taquet Muséum national d'histoire naturelle.

L'apparition et la disparition de « niches écologiques », en même temps que la compétition interspécifique, contribuent à modifier la structure de la biodiversité à un temps *t*. L'augmentation du nombre total de ces niches permet de l'augmenter. De tels événements peuvent résulter de remaniements climatiques ou spatiaux à l'échelle locale ou globale, mais de nouvelles niches peuvent également être créées *de novo* suite à l'acquisition d'innovations évolutives chez certaines espèces. L'acquisition du vol, chez les insectes, les ptérosaures, les oiseaux et les chauves-souris, est l'une des innovations évolutives qui a permis de créer des niches complètement nouvelles et ainsi d'augmenter la biodiversité totale, ainsi que celle des groupes occupant ces nouvelles niches. Voler est généralement synonyme d'avoir des ailes. Mais la présence d'organes de ce type, évidemment nécessaires à la pratique du vol, n'est néanmoins pas suffisante en soit pour pratiquer ce mode de locomotion, de nombreux autres paramètres interve-

nant en fait dans son accomplissement. En particulier les animaux qui doivent se libérer du sol doivent être dotés d'une capacité bien plus raffinée et dynamique d'évaluer leur mouvement puisqu'ils ne disposent plus alors du support dense du sol qui fournit aussi pour les organismes terrestres un référentiel fixe pour la coordination de leurs mouvements. Ils dépendent donc beaucoup plus que les animaux terrestres du système vestibulaire associé à la vision pour l'orientation spatiale et la coordination motrice.

Le système vestibulaire est responsable de l'équilibre et joue un rôle important dans la stabilisation de l'image du monde sur la rétine, *via* les réflexes vestibulo-oculaires et vestibulo-coliques, dans le maintien de la posture, ainsi que dans l'orientation et la navigation spatiale. Il permet de plus la construction d'une plateforme stabilisée, la tête, servant de référentiel mobile^{1,2}, (au sens du mathématicien Elie Cartan), et qui est stabilisée en rotation durant la locomotion, simplifiant considérablement son contrôle ainsi que celui de la centaine de



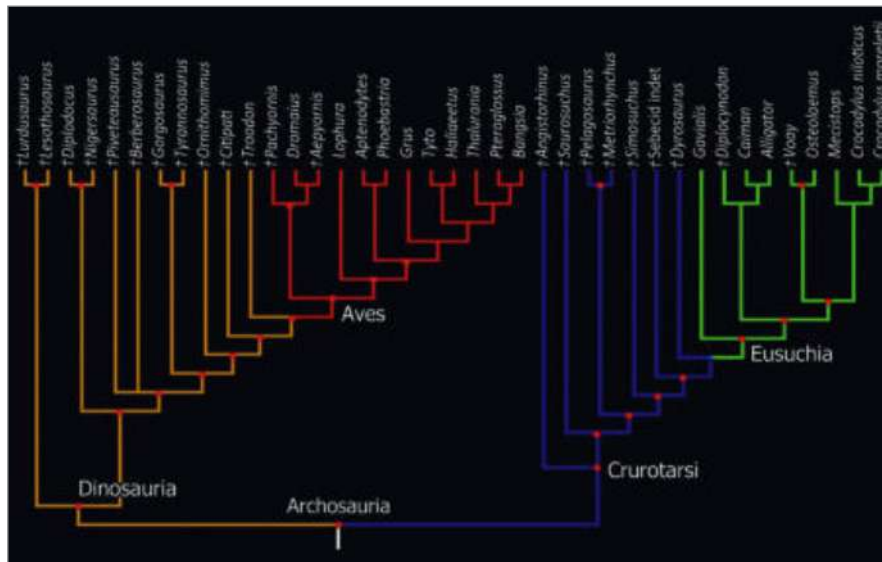


Fig. 1: Relations phylogénétiques des spécimens considérés lors de cette étude. En rouge, les oiseaux, en orange, les dinosaures non-aviens, en vert les crocodiliens eusuchiens et en bleu, les crurotarsiens non-eusuchiens. (David, R. 2011. Thèse de doctorat).

degrés de liberté de mouvement des segments corporels. Nous avons proposé l'hypothèse³ que si certains dinosaures, les oiseaux, ont pu prendre leur envol, ce n'était pas seulement parce qu'ils avaient acquis des plumes et des ailes mais bien parce qu'un système vestibulaire performant avait également été développé au cours de leur évolution. Pour tester cette hypothèse, dans le cadre d'une coopération entre le Laboratoire du Collège de France/CNRS et le Muséum d'histoire naturelle, nous avons étudié le groupe des archosaures, représenté actuellement par les crocodiles et les oiseaux, en considérant particulièrement leurs représentants fossiles. Le traitement au sein du système nerveux central des informations données par les capteurs vestibulaires est inaccessible chez les fossiles. Nous nous sommes donc intéressés à l'évolution des propriétés mécaniques de la partie sensorielle périphérique et, dans une première étape, aux canaux semi-circulaires.

Le labyrinthe est constitué de trois structures encapsulées : a) la plus externe, dite « labyrinthe osseux », est

très souvent conservée chez les fossiles sous forme de cavités et de canaux localisés dans la capsule otique. b) Elle entoure une structure membraneuse, le « labyrinthe périlymphatique », contenant un fluide nommé périlymphe, et dans lequel baigne c) la partie fonctionnelle, le « labyrinthe membraneux », qui contient un liquide visqueux dit « endolymphe » qui se déplace sous l'effet des variations des forces d'inertie qu'induisent les rotations de la tête et exerce sur des cellules sensorielles des pressions, elles mêmes détectées par des mécanismes de transduction mécano-neurales. Malgré l'absence d'accès au traitement neural il a été démontré que l'on peut évaluer indirectement certaines propriétés dynamiques de ces capteurs par l'analyse de leur morphologie géométrique impliquant en particulier le rayon de courbure des canaux censé être représentatif du caractère fonctionnel de l'organe. Le labyrinthe osseux présente dans bien des cas une morphologie similaire à celle du labyrinthe membraneux, la partie fonctionnelle du système, on peut déduire de là des hypothèses fonctionnelles chez les fossiles.

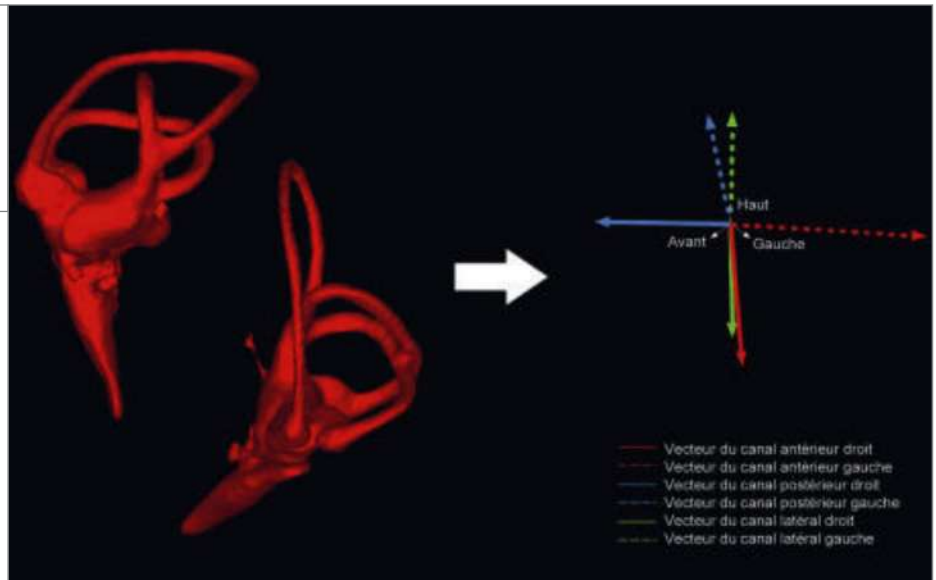
- Berthoz, A. & Pozzo, T. 1988. Intermittent head stabilisation during postural and locomotor tasks in humans. In: Amblard, B., Berthoz, A., Clarac, F. (eds) *Posture and gait: Development, adaptation and modulation*. Elsevier, Amsterdam, pp.189-198.
- Pozzo, T., Berthoz, A. & Lefort, L. 1990. Head stabilisation during various locomotor tasks in humans. I. Normal subjects. *Exp. Brain Res.* 82: 97-106.
- Berthoz A., Allain R., Bennequin D., David R. & Janvier P., 2011. Sortie de l'eau et système vestibulaire. Pp. 75-97 in Corvol P. & Elghozi J.-C. (eds), *Sortir de l'eau*. Odile Jacob, Paris.
- David, R., Droulez, J., Allain, R., Berthoz, A., Janvier, P., Bennequin, D. 2010. Motion from the past. A new method to infer vestibular capacities of extinct species. *Comptes Rendus Palevol* 9 (6-7), pp. 397-410.

- David, R., Berthoz, A., Bennequin, D. 2011. Secret laws of the labyrinth. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2011 : 2269-72.
- David, R. 2011. Le système des canaux semi-circulaires des Archosaures : anatomie, morphométrie, morphologie fonctionnelle, évolution. Thèse de doctorat.
- David, R., Allain, R., Bennequin, D., Berthoz, A., Boistel, R., Janvier, P. En préparation. Morphophysiology of the semicircular ducts' system of five unusual tetrapods.
- David, R., Allain, R., Bennequin, D., Berthoz, A., Boistel, R., Janvier, P. En préparation. Bony labyrinth anatomy is also a proxy to deduce semicircular ducts' capabilities.

Fig. 2: Diversité de forme et de taille du labyrinthe des archosaures, vu perpendiculairement au plan du canal semi-circulaire antérieur. Dans l'ordre, de haut en bas: labyrinthes d'oiseaux, de dinosaures non-aviens, de crurotarsiens non-eusuchiens et finalement d'eusuchiens ou crocodiliens « actuels ». L'échelle est donnée par une pièce de 1 euro. (David, R. 2011. Thèse de doctorat)



Fig. 3: Structure fonctionnelle du système des canaux semi-circulaires représentée par un jeu de 6 vecteurs de sensibilité tenant compte de toute la forme, la taille et la torsion des canaux semi-circulaires et pouvant être utilisé pour les analyses biomécaniques. (David, R. et al. 2010; David, R. 2011. Thèse de doctorat).



Nous avons, pour tester notre hypothèse, développé une nouvelle approche méthodologique^{4,5,6}, permettant d'obtenir directement une estimation des paramètres fonctionnels des canaux semi-circulaires, et surclassant en précision les résultats obtenus par les méthodes précédentes. Pour atteindre cet objectif, nous avons scanné des têtes de tétrapodes à l'European Synchrotron Radiation Facility de Grenoble, ceci a permis de visualiser, pour la première fois, le labyrinthe membraneux en position dans le labyrinthe osseux avec une précision de quelques microns⁷. L'application des modèles biomécaniques les plus détaillés sur ce jeu de données nous a permis de développer un cadre méthodologique permettant de relier les paramètres morphologiques des canaux semi-circulaires osseux aux paramètres biomécaniques des canaux semi-circulaires membraneux de façon directe, et ce, pour la première fois⁸. Ce travail a fait l'objet de la thèse de Romain David.

Nous disposons ainsi d'une base de données, actuellement unique au plan international, composée de labyrinthes de 39 archosaures actuels et fossiles, ayant été

scannés par microtomographie, de façon à estimer les paramètres biomécaniques de leurs canaux semi-circulaires en relation avec leur forme. L'analyse de morphométrie géométrique de la forme des canaux semi-circulaires a été couplée aux résultats obtenus quant à leur optimisation fonctionnelle.

Nous avons ainsi montré que la morphologie des canaux semi-circulaires est très corrélée à la position phylogénétique des spécimens étudiés, de sorte que la connaissance de la morphologie permet de discriminer entre les grands groupes. En particulier en intégrant des données fossiles, on retrouve un continuum de formes entre la morphologie observée chez les oiseaux et celle observée chez les crocodiles actuels. A priori, ni le morphotype crocodilien, ni le morphotype avien ne correspond à celui qui semble avoir été présent au nœud des archosaures, la morphologie du labyrinthe ayant évolué indépendamment au sein de ces deux lignées qui ont survécu jusqu'à nos jours.

Les résultats indiquent, de plus, que la fonction des canaux semi-circulaires est corrélée à la fois à leur

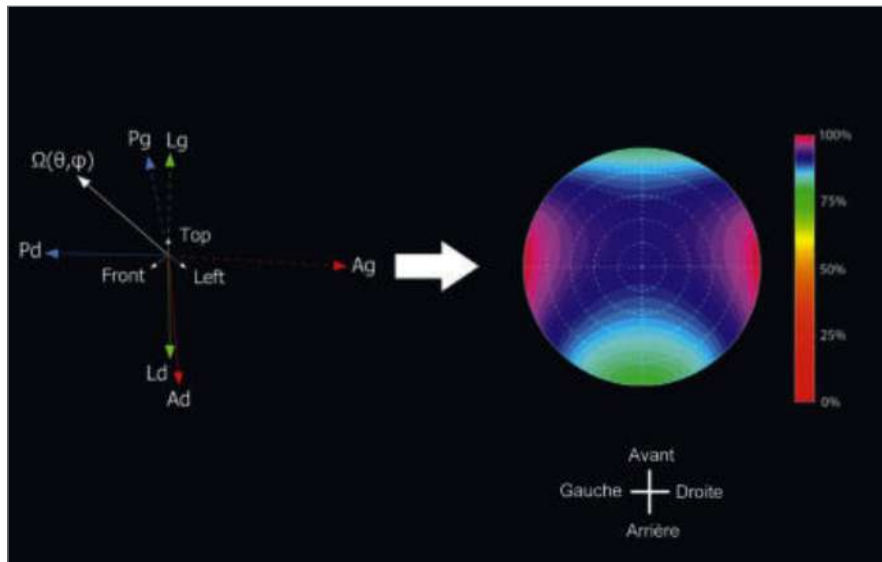


Fig. 1: Utilisation de la structure fonctionnelle du système des canaux semi-circulaires pour l'analyse de la sensibilité directionnelle du système. La sphère de détection est en vue dorsale, les couleurs qui tendent vers le bleu et le rouge indiquent une forte discrimination des variations du vecteur de rotation dans ces directions. (David, R. et al. 2010; David, R. 2011. Thèse de doctorat).

structure et à la position phylogénétique des organismes étudiés. Nous avons ainsi observé une baisse de l'optimisation fonctionnelle de la forme des canaux dans la lignée crocodylienne, entraînant la détection chez ces organismes d'une bande de vitesses angulaires plus étroite et décalée vers les basses vitesses, et au contraire, une augmentation de cette optimisation dans la lignée dinosaurienne, en particulier au niveau de clades proches de l'origine du vol, entraînant la détection d'une large bande de vitesses angulaires décalée vers les hautes vitesses⁹.

Un tel résultat conforte notre hypothèse initiale. Il montre également que l'analyse de caractéristiques fonctionnelles d'organismes fossiles permet d'éclaircir les étapes ayant mené à des événements évolutifs majeurs qui ont permis de structurer et d'augmenter la biodiversité actuellement observée.

Des précisions supplémentaires viendront de l'étude des variations des otolithes, qui sont les structures cristallines permettant la détection des accélérations linéaires et de la gravité, également accessibles aux scanners. Il a déjà été observé que l'évolution des vertébrés dans des milieux s'est accompagnée d'une réorganisation des otolithes¹⁰, et il est suspecté que la navigation des oiseaux repose en partie sur des propriétés particulières de leurs otolithes¹¹. La caractérisation des propriétés des canaux semi-circulaires s'accompagne actuellement de l'élaboration d'une nouvelle modélisation des capteurs vestibulaires^{12, 13}, qui rend compte de leurs propriétés de détection des dérivées de la vitesse des mouvements de la tête en trois dimensions.

L'apparition de l'homme fait aussi partie de la biodiversité. Les résultats précédents ont été étendus à l'homme.

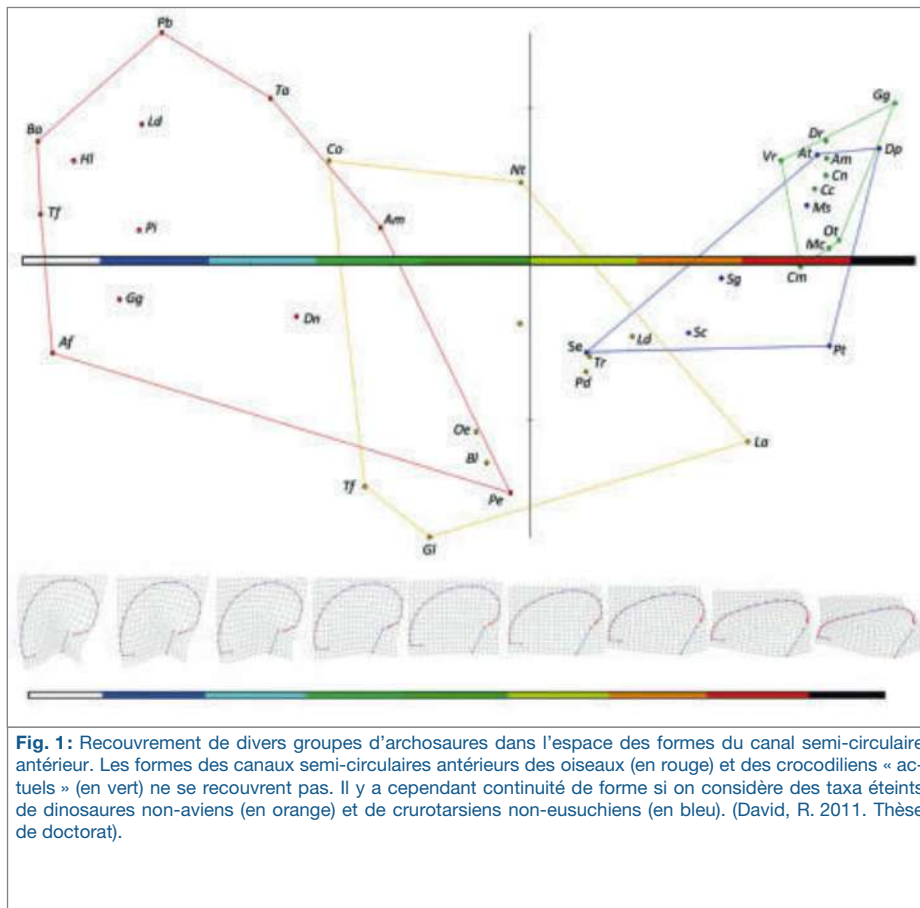
9. David, R., Allain, R., Bennequin, D., Berthoz, A., Boistel, R., Janvier, P. En préparation. Semicircular ducts of flying birds are optimised to detect very high angular velocities.

10. Lychakov, D. V., Rebane, Y. T. 2004. Otolith mass asymmetry in 18 species of fish and pigeon, *J. Grav. Physiol.* 11 (3), 17 – 34.

11. Khorevin, V.I. 2008. The Lagena (the Third Otolith Endorgan in Vertebrates). *Neurophysiology*, 40 (2), 142-159.

12. Dimiccoli, M., Girard, B., Berthoz, A., Bennequin, D. Soumis 2012. *Striola Magica*. A functional explanation of otolith geometry.

13. Marianelli, P., Berthoz, A., Bennequin, D. Soumis 2012. *Crista egregia*. A three-dimensional mathematical model of the cista ampullaris surface.



Il a en effet été démontré que la capacité de l'homme de s'affranchir du sol dans la course, le saut, ou des sports, que le neurologue André Thomas appelait « équilibre de luxe », est due au fait qu'au cours de l'enfance, le contrôle de la marche est progressivement transféré d'un mode qui utilise le sol comme référence à un autre mode qui crée une plateforme inertielle stabilisée, la tête, utilisant le système vestibulaire et la vision.

Chez le jeune enfant humain, la locomotion, qui apparaît vers 1 an, est d'abord organisée à partir des pieds et met en jeu principalement les mécanismes spinaux et de maintien postural. Puis, vers 3 ou 4 ans, il y a une inversion du contrôle et c'est dès lors à partir de la tête, stabilisée en rotation dans l'espace, qu'est contrôlée la locomotion, en particulier grâce au système vestibulaire. Puis vers 7 ans se mettent en place les bases neurales d'un guidage de la marche pour la « navigation » terrestre en même temps que les fonctions qui permettent non seulement l'orientation spatiale mais aussi les stratégies cognitives de représentation égocentrées et allocentrées de l'espace et la manipulation des points de vue. Dans tous ces processus de développement, le système vestibulaire participe, et constitue un référentiel fondamental. Notre hypothèse est que ces aptitudes, qui sont présentes chez les oiseaux mais aussi chez les primates, exigent des propriétés particulières du système vestibulaire, qui le rendent apte à mesurer avec une grande précision des mouvements très rapides dans l'espace tridimensionnel comme le fait l'écureuil lorsqu'il saute de branche en branche ■

Recherche soutenue par le Programme CLONS de la Communauté Européenne

Le système vestibulaire est composé de plusieurs capteurs sensoriel situés dans l'oreille interne et d'un réseau neuronal de traitement central.

Les canaux semi-circulaires détectent les accélérations angulaires de la tête. Le mathématicien Henri Poincaré avait insisté sur leur rôle dynamique. Il a aussi noté l'importance du système vestibulaire, en interaction avec le système visuel et le système proprioceptif, dans la fondation de notre conception même de l'espace car ils sont disposés dans trois plans sensiblement orthogonaux qui en font un référentiel géométrique supposé Euclidien.

Les capteurs otolithiques (sacculle, utricule et lagena) mesurent les accélérations linéaires, y compris une accélération particulière qui est la gravité. Einstein avait bien montré qu'on ne peut pas distinguer, avec un tel capteur inertiel, la gravité d'une accélération. Les capteurs otolithiques fonctionnent donc comme un « inclinomètre », qui mesure l'inclinaison statique et dynamique de notre tête dans l'espace, en coopération avec les canaux. Ils signalent la direction de la verticale terrestre qui peut, par conséquent, être utilisée comme référentiel. Ils ont aussi été essentiels pour permettre l'équilibre et même, chez les espèces volantes, pour s'affranchir du sol.

La biodiversité végétale : une richesse à connaître et à protéger

Par **Christian Dumas**

Membre de l'Académie des sciences,
professeur à l'École normale supérieure de Lyon.

« **L**e monde a échoué dans l'atteinte de l'objectif qu'il s'était fixé de parvenir à une réduction significative du taux de perte de biodiversité », ont résumé les responsables du Fonds pour l'environnement mondial du Programme des Nations Unies pour le développement, lors de la présentation du dernier rapport de l'ONU : « *Perspectives mondiales de la biodiversité* » (2010). La dégradation voire même la disparition de la biodiversité : est-ce une première au cours de l'histoire de la terre ? La réponse est non ! En effet, il y a déjà eu cinq grandes extinctions au cours des périodes géologiques précédentes. La plus connue, avec la disparition des dinosaures et près de 80 % des espèces, se situe à la limite crétacé-tertiaire et est datée de -65 Ma (Ma, ou le million d'années est l'unité de temps géologique). Aujourd'hui, nous sommes entrés dans une sixième extinction : l'anthropocène, nommée ainsi car l'homme et ses activités en sont les responsables majeurs ! La vitesse de disparition des espèces a augmenté d'un facteur 10^2 à 10^3 par rapport aux époques géologiques passées. Actuellement, 10 à 30 % des espèces de mammifères, d'oiseaux et de batraciens sont en voie de disparition ainsi que de nombreuses espèces

végétales, et 35 % de l'ensemble des espèces vivantes pourraient avoir disparu à l'aube de 2050. Par ailleurs, 2.000 nouvelles espèces de plantes sont découvertes chaque année et on estime que 20 à 30 % des plantes ou des animaux n'ont pas encore été répertoriés ; certains risquent donc de disparaître avant même d'avoir été découverts !

Les plantes sont plus menacées que les oiseaux et autant que les mammifères qui reçoivent pourtant beaucoup plus d'attention dans l'opinion publique. Ne voit-on pas, de manière systématique, les télévisions proposer l'image d'un ours blanc sur un morceau de banquise pour illustrer la perte de biodiversité en relation avec le réchauffement climatique ! Les plantes sont à la base de toute la vie en fournissant la nourriture et l'énergie tout en assurant un air plus sain, en fixant les sols, en limitant l'érosion et en épurant l'eau. Fin 2011, plusieurs organismes botaniques dont les célèbres Kew Gardens de Londres ont présenté les résultats d'une étude qui a duré cinq ans et a porté sur plus de 4000 espèces : près d'un quart sont menacées et inscrites sur la liste rouge des espèces à protéger ! L'agriculture, l'élevage, la déforestation, l'urbanisation contribuent pour 80 % de cette extinction, le reste étant lié à des



causes naturelles. Parmi les arbres, ce sont ceux des mangroves, forêts localisées à la zone de balancement des marées, qui sont les plus en danger : 16 % des espèces de palétuviers formant ces mangroves, sur les 70 répertoriées à l'échelle mondiale, sont menacées. Enfin, quatre des plus grandes institutions botaniques du monde (Saint-Louis, Missouri; New York; Kew Gardens et les Jardins royaux d'Edimbourg) ont lancé l'initiative « *World Flora* » destinée à répertorier toutes les plantes de la planète et à permettre la consultation sur Internet, d'ici 2020, d'un catalogue d'au moins

400 000 espèces. Les responsables font valoir l'intérêt du projet pour la protection de la biodiversité compte tenu qu'ils estiment à environ 100 000 le nombre d'espèces botaniques menacées. Il faut aussi mentionner l'expansion de plantes introduites, incluant les espèces horticoles, le plus souvent par l'homme, qui deviennent envahissantes et réduisent de manière drastique la flore endémique; c'est la deuxième cause d'érosion de la biodiversité végétale. Pour appréhender, et donc protéger la biodiversité végétale, il ne suffit pas de faire un inventaire mais bien

d'avoir une approche globale du vivant qui intègre les trois niveaux que sont les gènes, les espèces et les écosystèmes.

- Le premier niveau, l'ADN, permet de différencier au niveau des gènes des individus d'une même espèce botanique, ou d'une même variété agricole ou horticole.
- Le second est celui des espèces. Une étude récente (*Science*, 2012, 333, 1083) évalue à 8,7 millions les complexes d'espèces animales et végétales alors qu'on estime seulement à 1,8 millions, les espèces référencées, c'est-à-dire décrites, nommées et classées par les spécialistes. Parmi elles, ce sont les insectes les plus nombreux (environ 40 %) devant les plantes (moins de 20 %).
- Le dernier est celui de l'écosystème : il comprend un milieu, les êtres vivants qui le composent et toutes les relations physico-chimiques et biologiques qui peuvent exister et se développer à l'intérieur de ce système. C'est le niveau le plus complexe et cette complexité limite l'expérimentation, d'où les nécessaires approches théoriques basées sur la modélisation. Quelques interactions biotiques ont été cependant bien étudiées comme les symbioses entre légumineuses (luzerne, trèfle, etc) et bactéries capables de fixer l'azote atmosphérique, ou encore celles qui se forment entre des champignons et plus de 80 % des racines des plantes, les mycorhizes, les plus connues étant les truffes.

La grande abondance et la diversité des espèces végétales ont nécessité des méthodes d'observation, de description et une dénomination universelle. Les règles de la dénomination appliquées aux plantes ont été définies en 1753 par Linné dans son *Species Plantarum*; elles ont ensuite été étendues aux autres êtres vivants et sont toujours en vigueur. Elles impliquent un nom de genre suivi d'un nom d'espèce en latin, puis le nom de l'auteur qui en a fait la première description.

L'Homme n'est pas que destructeur, il est aussi créateur de biodiversité. Aujourd'hui, personne ne remet en cause que l'Homme fait partie intégrante de la Nature. Que disait Darwin à ce propos, quelques années après sa contribution majeure : « *De l'origine des espèces* » publiée en 1859. « *Bien que l'Homme ne puisse causer de la variabilité ni même l'empêcher, il peut sélectionner, préserver, et accumuler les variations qui lui sont fournies par la Nature parmi lesquelles il peut choisir; et donc obtenir un grand résultat, au sens de nouveauté intéressante* ». Toutes les variétés de plantes cultivées ou les races animales sont des créations de l'Homme. Ainsi, entre deux variétés de maïs, la distance génétique peut être supérieure à celle séparant l'Homme du chimpanzé!

Depuis cette publication de Darwin : la population humaine a augmenté d'un facteur 7 ; l'énergie utilisée par personne d'un facteur du même ordre ; l'empreinte de l'homme sur l'environnement ou empreinte écologique, d'un facteur 50 ! Pour avoir une idée du rôle de la biodiversité, on fait également intervenir de plus en plus la notion de services écosystémiques : c'est-à-dire les services que l'Homme trouve dans la biodiversité comme les ressources alimentaires, l'eau, les fibres, le bois, les médicaments, etc. Ils ont été évalués globalement à 40 000 milliards d'euros pour 2050, soit 6 à 7 % du PIB mondial. Parmi eux, on peut aussi mentionner la valeur des abeilles comme pollinisateurs pour l'agriculture qui représenterait 153 milliards, les mangroves 1,2 milliard d'euros, etc. Enfin, plus du quart des médicaments ont pour origine les plantes (éphédrine, morphine, aspirine, taxol, etc, même si beaucoup sont produits aujourd'hui par synthèse chimique).

Les végétaux verts sont aussi connus pour fonctionner comme des puits de carbone en utilisant le CO₂ pour transformer l'énergie lumineuse en énergie chimique stable au cours de la photosynthèse, et en libérant de l'oxygène. C'est pourquoi les médias comparent souvent la forêt amazonienne au "poumon vert" de la planète et plaident pour sa protection. Cependant, il y a une autre forêt très importante occultée par ces mêmes médias, la forêt sub-antarctique de l'hémisphère nord, la seconde en importance après la forêt amazonienne ; certes, moins riche en termes de biodiversité mesurée en nombre d'espèces identifiées par ha, mais très importante pour le bilan carbone. Un autre point important a trait à une partie de la biodiversité non visible contenue dans les océans. On attribue environ 1/5^e de la photosynthèse planétaire au plancton végétal. La photosynthèse serait apparue, il y a plus de 2 milliards d'années chez des algues unicellulaires. L'étude des parentés phylogénétiques des gènes de plastides a montré qu'ils dérivent tous de ceux d'une micro-algue (une cyanobactérie ancestrale). De plus, tous les végétaux actuels sont issus de l'intégration des gènes de la photosynthèse d'une cyanobactérie ancestrale dans une cellule primitive de type protiste par endosymbiose : ce mécanisme aboutissant à cette micro-algue chimérique ancestrale (*Science* 2012, 335 : 809). Chaque année, la photosynthèse océanique génère une quantité de carbone organique analogue à celle due aux forêts, toutefois il est consommé rapidement par les animaux marins. Une petite fraction cependant sédimente au fond des océans et la moitié de la production photosynthétique journalière a lieu dans la couche des 100 m supérieurs des océans. Cette « pompe biologique à carbone » semble aujourd'hui grippée dans l'océan Austral où le phytoplancton est plus rare, ce qui n'est pas le cas au large des îles Kerguelen, par exemple. Le fer serait responsable de ce problème. Certains imaginent ensemercer les océans de fer pour générer une

« *Nous n'héritons pas la terre de nos ancêtres, nous l'empruntons à nos enfants* »

(A. de Saint-Exupéry)

explosion des micro-algues marines et augmenter ainsi leur capacité comme puits de carbone naturels! Cependant, les fonds marins sont suffisamment riches en fer pour assurer un bon fonctionnement de la pompe biologique du carbone. Mais le transfert de carbone de la surface jusqu'aux profondeurs des océans n'est pas encore complètement compris, notamment parce que les processus biologiques sont complexes et non linéaires. Sur terre, les arbres, avec un temps de génération long (souvent plus de 10 ans), sont des contributeurs plus importants que les micro-algues, mais ces dernières ont un turnover beaucoup plus rapide (souvent une génération par semaine)!

Peut-on protéger efficacement la biodiversité? L'idée de créer des zones protégées a été mise en place, dès 1872, avec la création du premier parc naturel aux États-Unis (Yellowstone Park); cette idée a ensuite été reprise un peu partout. Divers scénarios ont été préconisés pour limiter les pertes de biodiversité parmi lesquels celui élaboré par une équipe française sur une des flores les plus riches au monde, celle de la région du Cap, en Afrique du Sud (Science 2010, 330:

1 496). Il y a des zones très riches en biodiversité, des « points chauds », estimés à une vingtaine, généralement dans les zones tropicales; certains comme la Nouvelle Calédonie sont remarquables à ce titre avec un des taux d'endémicité végétale parmi les plus élevés au monde (voisin de 78 %) et la présence d'une espèce arbustive emblématique, *Amborella trichopoda*, considérée, d'après les données phylogénétiques, comme la «sœur» de toutes les plantes à fleurs actuelles. Une autre, le *Ginkgo biloba* ou arbre aux écus d'or, seule espèce rescapée après les bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki, est considérée comme un véritable 'fossile vivant'. Mais la meilleure protection de la biodiversité reste encore l'éducation aux sciences de la Nature dès le primaire; se pose alors avec acuité le problème de la formation tant initiale que continuée des enseignants.

« *Nous n'héritons pas la terre de nos ancêtres, nous l'empruntons à nos enfants* » (A. de Saint-Exupéry) ■

La biodiversité animale

Par **Jean-Dominique Lebreton**

Membre de l'Académie des sciences,
directeur de recherche au CNRS,
CEFE UMR 5 175 Montpellier.

Par sa mobilité, l'animal est le symbole même de la vie: Saint-John-Perse célèbre ainsi « l'oiseau, de tous nos consanguins, le plus ardent à vivre ». La diversité des animaux a de tout temps frappé l'esprit humain. Dans la Genèse, Dieu dit ainsi à Noé: « De tout ce qui vit, de toute chair, tu feras entrer dans l'arche deux de chaque espèce pour les conserver en vie avec toi ». Mais la connaissance empirique de la diversité animale par les chasseurs, puis les éleveurs, a mis des siècles à s'organiser en connaissance rationnelle.

Au XVIII^e siècle, Linné crée un système robuste de noms scientifiques couplant un nom de genre et un nom d'espèce, analogue au « Nom prénom » utilisé par bien des sociétés humaines, et ouvre une période d'inventaire encore active. L'espèce regroupe les individus susceptibles d'être interféconds; le genre permet de regrouper des formes similaires ou présumées parentes. Bien avant que la génétique moléculaire remette l'idée au goût du jour, et que la connaissance de l'évolution biologique évoque l'idée d'un ancêtre commun, Linné avait primitivement

décrit le Chimpanzé *Pan troglodytes* comme *Homo troglodytes*, à nos côtés donc dans le genre Homo.

Il est tentant de faire tout d'abord de la biodiversité animale une affaire de nombre d'espèces. Les Vertébrés, marquants par leur taille, leurs mœurs, voire leur ressemblance avec l'homme, ne regroupent qu'environ 50 000 espèces, un petit système planétaire en somme. Les invertébrés sont pour le zoologiste une immense galaxie hétérogène, faites des multiples « embranchements »: Mollusques, Nématodes, Annélides, Arthropodes...

Les Arthropodes, les animaux à pattes articulées, principalement insectes et araignées, retiennent particulièrement l'attention. Sur près de 2 millions d'espèces vivantes reconnues de la science, ils en rassemblent 700 000. Le biologiste anglais J. B.S. Haldane, athée et communiste, avait répondu à un journaliste qui lui demandait ce que Dieu pouvait avoir en tête lors de la création: « an inordinate fondness for beetles », un goût immodéré pour les scarabées... Dans la forêt Amazonienne, on a montré que chaque espèce d'arbre était habitée par plusieurs centaines d'espèces d'insectes, souvent attachées de façon exclu-



sive à leur hôte; ces recensements ont permis de décrire de nombreuses espèces, « nouvelles pour la science ». Chaque hectare de forêt abritant des dizaines, parfois des centaines d'espèces d'arbres différentes, on a pu estimer qu'il y avait près de 10 millions d'espèces de coléoptères dans ces forêts. L'utilisation de marqueurs moléculaires permet en outre de montrer l'isolement génétique de formes d'apparence identique, des « espèces cryptiques », dont beaucoup sont probablement encore à découvrir. La plus grande part de la biodiversité animale reste donc à inven-

torier, que ce soit en milieu terrestre ou dans les océans. Les estimations du nombre total d'espèces vivantes vont de 10 à 100 millions d'espèces, mais seules environ 2 millions sont connues de la science. Ces nombres trouvent des contreparties dans des inventaires à échelle plus restreinte : 1 500 espèces de charançons en France, environ 300 de guêpes et d'abeilles; 3 200 espèces d'insectes recensées en Camargue, mais, en tenant compte des groupes qui n'ont pas été examinés de près par un spécialiste, probablement 12 000 présentes.

Il serait cependant totalement absurde de réduire la diversité animale à un ou plusieurs nombres. La diversité animale, c'est avant tout la diversité qualitative des formes morphologiques, des systèmes de reproduction, des adaptations aux environnements les plus variés. On a l'embarras du choix pour illustrer cette diversité. Par exemple, la vie aux basses températures entraîne, à côté d'innombrables adaptations physiologiques, des adaptations comportementales ayant souvent évolué indépendamment de façon répétée : les « tortues » des manchots empereurs se regroupant pour lutter contre le froid ont ainsi pour pendant l'hibernation en groupes familiaux serrés

avec un efficacité subtilement organisée, et des techniques dépendant de la proie !

Cette diversité, qu'on pourrait illustrer de mille autres anecdotes, est tellement frappante qu'elle a longtemps occulté la facette inverse, les ressemblances entre animaux. La seule explication acceptable du monde était alors une création quasi-instantanée par un être supérieur. Le premier pas, notamment avec Lamarck au début du XIX^e siècle, a été de penser que cette diversité résultait de transformations progressives. Darwin a proposé comme mécanisme la « sélection du plus apte », vision d'autant plus géniale qu'il devait supposer l'existence d'une



des jeunes marmottes. Pour ce qui est des systèmes de reproduction, l'hermaphrodisme, ou le changement de sexe au cours de la vie est courant chez les poissons coralliens, comme une assurance de reproduction dans des populations souvent très fragmentées : chez certaines espèces, la disparition du mâle d'un groupe entraîne rapidement le changement de sexe d'une femelle !

Pour ce qui est des formes et cycles de vie, comment ne pas s'étonner de certains parasites, comme les *Ribeiroia*, des vers plats dont les formes successives doivent pour accomplir leur cycle transiter successivement d'escargots aquatiques à des poissons ou des larves d'amphibiens, puis à des oiseaux ? A l'opposé de ces cycles complexes mais immuables, comment ne pas admirer la liberté et l'intelligence des grands prédateurs, capables de chasser en couple ou en meute

variabilité transmissible d'un individu à ses descendants immédiats, plusieurs dizaines d'années avant la découverte de la génétique. Le « néodarwinisme » reste à quelques ajustements près la représentation scientifique du monde vivant qui fait consensus, et la lecture ou relecture de « l'origine des espèces » (1869) de Charles Darwin est toujours un moment inoubliable. Les fondements moléculaires de la génétique avec la découverte de l'ADN par Watson et Crick sont venus parachever le tableau, en soulignant l'unité du monde vivant, issu probablement d'un événement unique. L'essor de l'épigénétique, mettant en évidence des mécanismes régulant, modulant, voire modifiant l'expression génétique, viendra indubitablement apporter d'autres nuances et compléments. La biodiversité est donc le résultat d'une diversification adaptative, entraînant une complexification des formes de vie, entrecoupées de crises, comme celle de la fin du Crétacé, il y a 65 millions d'années, marquée par la disparition des dinosaures... quasi-disparition pourrait-on dire, puisqu'on sait désormais que les oiseaux sont les descendants des dinosaures.

Mais la diversité des formes et cycles de vie et les contingences historiques ont aussi induit une extraordinaire diversité d'interactions et de fonctions : le « bricolage évolutif » de François Jacob a pour contrepartie un « bricolage écologique » : pollinisateur, prédateur, compétiteur : tout animal vit d'interactions, et adopte souvent plusieurs rôles à la fois. L'écologie, une véritable biologie au-delà de l'organisme, est donc centrée sur les interactions entre être vivants tout autant que sur leurs interactions avec le milieu physique. Les « réseaux trophiques » (« qui mange qui ») peuvent atteindre une grande complexité, complexité dont diverses études ont montré l'influence sur la productivité et la stabilité.

Mais au-delà de telles lois, qui permettent de solides analyses rétrospectives, la prévisibilité à long terme de la dynamique des communautés animales, et des écosystèmes dans leur ensemble, reste faible : la multiplicité, la complexité et la non-linéarité des interactions induisent une sensibilité critique aux conditions initiales et aux incertitudes de nos connaissances. Le développement de modèles plus robustes et de scénarios régionaux est donc une priorité des recherches sur la biodiversité face au développement de l'impact des activités humaines.

Une partie des ces interactions et du fonctionnement général des systèmes écologiques engendrent en effet les multiples services aux sociétés humaines, bien inventoriés par le « Millenium Ecosystem Assessment » (<http://www.maweb.org/documents/document.354.aspx.pdf>) : un écosystème stable et productif assurera des fonctions de régulation, par exemple de la

ressource en eau ; la biodiversité des microbes et de la faune du sol est un garant de la productivité agricole... La pollinisation par les insectes est un autre exemple frappant de service rendu par la biodiversité animale aux sociétés humaines : on a pu chiffrer son équivalent monétaire à 150 millions de dollars par an. Les activités humaines, via le transport, les changements d'usage des terres, et le changement climatique induisent une réduction et une homogénéisation de la biodiversité qui vont aller en s'accélégrant et dont il faut minimiser les effets délétères et les coûts économiques et sociaux.

L'impact des activités humaines sur la biodiversité est particulièrement bien documenté pour les animaux les plus visibles, les Vertébrés. La chasse et les modifications du milieu par les peuples primitifs a induit une première vague d'extinctions d'espèces il y a plus de 10 000 ans. Le mouvement s'est considérablement accéléré depuis cinq siècles, notamment suite à l'introduction de rats et de prédateurs sur des îles aux faunes sensibles. La surexploitation des mers est patente. Au cours des 2 000 dernières années, ce sont près de 10 % des Vertébrés qui ont disparu. C'est la faible capacité de croissance de leurs populations qui rend les Vertébrés particulièrement sensibles : de fait, les activités humaines ont déjà considérablement érodé la « mégafaune », et c'est indubitablement le signe, comme l'a été la disparition des grands dinosaures, de l'entrée dans une crise de la biodiversité, la sixième grande crise d'extinctions.

Ce sont bien sûr les extinctions locales, l'appauvrissement de la biodiversité « ordinaire » et du fonctionnement des systèmes écologiques à l'échelle locale, dont l'érosion des populations de pollinisateurs est un exemple, qui aura les conséquences socioéconomiques les plus marquées. Mais comment ne pas évoquer pour conclure une responsabilité plus éthique, celle que nous avons vis-à-vis des Hominidés, nos cousins les grands primates : Orangs-Outans : deux espèces, respectivement en danger, et en danger critique d'extinction ; Gorille : une espèce en danger critique d'extinction, Chimpanzés : deux espèces en danger d'extinction ■

La biodiversité, état de la question et enjeux

Par **Gilles Boeuf**

Professeur à l'université Pierre-et-Marie-Curie,
Laboratoire Arago, UPMC/CNRS, Sorbonne université,
Banyuls-sur-mer et président du Muséum national
d'histoire naturelle, Paris.

Les Nations Unies avaient déclaré l'année 2010 « Année internationale de la biodiversité » et devant l'ampleur des problèmes, à la Conférence inaugurale de l'Unesco à Paris en janvier 2010, il a même été décidé d'y consacrer la décennie 2010-2020. 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) alors que la Vie, et donc la biodiversité, ne nous ont laissé des empreintes que depuis 3 850 MA. En fait après diverses définitions données de la biodiversité, la plus simple aujourd'hui serait de la considérer comme la fraction vivante de la Nature !

Ce terme « biodiversity » a été créé par un écologue américain, issu de l'École de la Conservation, W Rosen en 1985 mais n'a été véritablement divulgué qu'après les travaux d'E. O. Wilson vers 1986. Ce mot ne sortira du sérail des chercheurs écologues que lors du Sommet de la Terre à Rio en juin 1992. Il est d'ailleurs extrêmement intéressant de se pencher sur l'histoire d'un tel terme (contraction en anglais de « biological diversity ») qui va passer d'un sens scientifique à un sens politique et

médiatique inimaginable (Blondel, 2005, Barbault, 2006, Boeuf, 2008). En fait, la biodiversité est bien plus que la seule diversité spécifique. Il faut considérablement insister sur le fait qu'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 ! La paléobiodiversité (et les paléo-habitats associés !) est fondamentale à connaître et à comprendre pour préciser la situation actuelle et la dynamique de cette diversité. Depuis le « mytique LUCA » (last universal common ancestor), antérieur à 3 800 MA, le vivant s'est considérablement diversifié et nous connaissons, aujourd'hui décrites et déposées dans les Musées, plus de 2 millions d'espèces, cependant loin de représenter cette véritable diversité biologique nous accompagnant encore actuellement. Nous l'estimons entre 8 et 20 millions d'espèces (Mora et al. en 2011 disent 8 à 10 millions) qui représentent 1 à 1,5 % (extrêmes estimés entre 0,1 et 10 %) de toutes les espèces qui ont vécu sur cette planète depuis le commencement. Chaque espèce est, bien entendu, destinée à apparaître, se développer puis disparaître. Les paléontologues travaillent souvent en genres, les biologistes sys-



tématiciens actuels en espèces... Toutes ces questions techniques de « comparabilité » entre le passé et l'actuel ont été discutées (Barnosky et al., 2011). La biodiversité actuelle est sur la flèche du temps et n'est que le résultat très fugace d'un processus démarré il y a 3 800 MA, dans l'océan puis ensuite aussi relayé sur les continents et toujours en cours (Boeuf, 2011).

Au vu des fossiles accumulés depuis 570 MA, la diversité spécifique a tendance à croître. Divers épisodes « courts » (0,3-4 MA) se sont produits correspondant à des crises d'extinction massives durant lesquelles au

moins 75 % des espèces ont disparu à chaque fois. La crise la plus prononcée (charnière Permien-Trias) intervint vers 245 MA a éteint 96 % des espèces, marines et continentales (Barnosky et al., 2011). La dernière s'est produite vers 65,5 MA. Diversifications et extinctions se succèdent depuis le commencement et se retrouvent dans l'enregistrement fossile, les premières étant plus nombreuses que les secondes puisque le nombre d'espèces augmente au cours du temps. Il est bien évident que la diversité actuelle ne serait pas ce qu'elle est sans tous les épisodes ayant existé dans le passé, longues

périodes durant les quelles il ne « se passait pas grand-chose », ou périodes de spéciations intenses lors de profonds et soudains changements environnementaux et moments de crises (les fameux « équilibres ponctués » de Gould et Eldredge). De nombreux travaux ont démontré l'influence des changements environnementaux soudains sur la dynamique de la biodiversité: volcanisme intense, grandes émissions de gaz, à effet de serre ou non, séismes, tsunamis, augmentation thermique, variations du pH de l'océan, effondrement des tensions en O₂ dans l'eau de mer et dans l'air, impacts de météorites, rencontres de continents, morcellements des milieux... Depuis tout récemment, en raison des activités d'une seule espèce, Homo sapiens, nous mesurons l'ampleur des destructions et pollutions massives des habitats, des surexploitations des stocks (pêches, forêt...), des disséminations anarchiques d'espèces, sans compter une capacité à influencer sur l'évolution du climat. L'humain crée certainement en ce moment (depuis deux siècles et c'est en accélération croissante), des conditions favorables aux apparitions d'espèces, mais comme il détruit au fur et à mesure bien plus, le constat risque d'être bien consternant! L'humain (et son cortège d'activités) est devenu la plus grande force évolutive sur la nature (Palumbi, 2001).

Alors, la biodiversité, en expansion? Naturellement oui, mais sous les « coups de boutoir » actuels de l'humain, non! Les conclusions du MEA, le Millennium Ecosystem Assessment (2005) sont claires quant aux taux de disparitions actuels (100-1 000 fois plus intenses que ceux calculés pour les 500 derniers MA!). Les travaux publiés pour l'année internationale de la biodiversité (Butchart et al., 2010) et ceux déjà antérieurement rapportés (Barnosky et al., 2011) ne nous rassurent pas plus. Ces auteurs rapportent en outre que nous sommes réellement en cours de la sixième grande crise d'extinction sur un laps de temps très court (540 années!) si nous ne modifions pas nos habitudes. Il est grand temps de réagir et de mériter notre nom de sapiens! Même si les chiffres de taux d'extinction ont été revus à la baisse (biais des estimations quand on relie les espèces éteintes aux surfaces d'écosystèmes dégradés ou détruits), ils demeurent au moins 300 fois supérieurs aux « taux naturels » attendus (He and Hubbell, 2011). La question fondamentale est aussi d'être capable d'évaluer la biodiversité d'un milieu sans impérativement connaître toutes les espèces vivantes qui le peuplent (et c'est toujours le cas!): « chaque espèce a-t-elle la même « valeur » au sein de sa niche écologique? » (Chiarucci et al., 2011). Que représente une liste d'espèces pour estimer la biodiversité? Les questions de pertinence des données et des échelles n'ont pas le même sens aux plans écologique et biogéographique. Les questions de richesse en espèces, d'abondance, de β diversité, de diversité phylogénétique, d'histoire de la diversité, de phylogéographie, de biogéographie, ont leur importance: comment

ces données sont-elles utilisables pour en déduire des stratégies de conservation, voire de compensation ou de restauration? Tous ces aspects ont été échangés, discutés, analysés, pensés, décortiqués, revus, synthétisés au cours des 7 dernières années et les travaux relatifs en plein essor. La biodiversité est en voie d'érosion beaucoup trop forte, en fait depuis une époque très récente dans l'histoire de la Terre, celle dénommée par le Prix Nobel de chimie, P H Crutzen, « l'anthropocène » (Crutzen et Stoermer, 2000). En 3-4 siècles l'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 10, associée à un décuplement de la population. Nous rejetons dans l'environnement de plus en plus de gaz à effet de serre (vapeur d'eau, CO₂, méthane...) et de dioxyde de soufre et provoquons par les amendements agricoles, la fixation de deux fois plus d'azote (Barbault, 2006). La ressource en eau est très menacée. L'eau, une des molécules les plus banales dans l'univers, est « oubliée » sur la Terre: c'est un oubli catastrophique à terme, nous sommes constitués aux deux tiers d'eau, notre cerveau aux 4/5 (Boeuf, 2012)!

La préservation de la biodiversité apparaît fondamentale. Non seulement bien entendu pour des raisons éthiques (pourquoi accepterions-nous de voir s'éteindre de notre faute des millions d'espèces sur une période très courte, alors qu'elles sont parvenues jusqu'à nous?), mais aussi pour des aspects très pratiques de besoins permanents des services rendus (CSPNB, 2012) par cette diversité, nous ne pouvons « laisser faire » ainsi et accepter benoîtement de perdre notre capital! Les écosystèmes et la biodiversité sont vitaux, entre autres pour tous les services que le MEA (2005) propose de classer selon 4 catégories, approvisionnement en eau, nourriture, médicaments, produits divers et variés, modèles pour la recherche..., régulations, eau, climat, protection physique, influences sur les maladies..., biens culturels, spirituels, religieux, « beauté écologique »... et appuis, sols, production primaire... La diversité spécifique offre un réservoir inépuisable à la recherche pour y puiser des molécules d'intérêt, pharmacologiques, cosmétiques, sondes... et des modèles originaux pour la recherche fondamentale. Une biodiversité maintenue permet une bien meilleure productivité et représente également la meilleure barrière aux espèces invasives (Barbault, 2006, Boeuf, 2008).

L'enjeu est grand pour faire prendre conscience aux opinions publiques et aux hommes politiques de l'acuité du sujet et de l'urgence à prendre des mesures concrètes et efficaces. Les aspects liés à la formation sont essentiels et l'enseignement, surtout auprès des jeunes, est déterminant: il faut très objectivement les informer sans non plus les désespérer! Comment continuer ainsi dans un monde aussi égoïste où 20 % des humains « contrôlent » 80 % des ressources? En fait l'une des actions fonda-

mentales correspond à la mise en place d'une gouvernance efficace pour beaucoup d'aspects qui dépassent largement les régions ou frontières. Quel cadre politique local, régional, national, international ou mondial instaurer ? Nous venons de créer en avril 2012 l'IPBES (pour « International Platform for Biodiversity and Ecological Services »), l'équivalent d'un « GIEC » (groupe sur le Climat) sur la biodiversité. Il voudrait être lancé à Rio, en juin 2012, l'Organisation Mondiale pour l'Environnement (OME). Le problème est de substituer au mode de pensée actuel une approche intégrée et multidimensionnelle qui soit capable de générer une durabilité globale à l'échelle de la planète (Raven, 2002). La croyance de la survie exclusive de l'humanité en villes et méga-cités est une grave erreur : la nature humaine est bien plus vaste et profonde que les limites artificielles de n'importe quelle culture. Les racines spirituelles d'Homo sapiens sont très profondément ancrées dans le monde naturel par le biais de canaux encore bien peu connus de son développement mental (Wilson, 2007, Mitchell et Popham, 2008). Ne rien faire va coûter très cher (Chevassus et al., 2009), il nous faut impérativement réconcilier écologie et économie (Barbault, 2006) et arrêter de faire croire que développement économique, plein emploi, harmonie et écologie sont en opposition ! En matière de protection de l'environnement et des espèces qui le peuplent, de développement durable et de gestion raisonnée et durable des ressources, sans gaspillages inutiles et sans l'égoïsme prévalent actuel, il faut tendre à établir un véritable Droit de la Nature, dans ce système présent de compétitions internationales exacerbées, un Droit dans lequel il serait interdit de détruire et de surexploiter. Et ceci se surimpose aux raisons éthiques que nous devons bien sûr aussi mettre en avant pour convaincre qu'il nous faut beaucoup plus aimer et respecter cette biodiversité. Le capital naturel ne peut indéfiniment être appauvri et nous ne pouvons nous passer des services rendus par les écosystèmes. 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 pleinement justifier, enfin mériter au cours de ce siècle, ce terme de « sapiens » dont nous nous sommes affublés ? ■

Références

Barbault, R. 2006. *Un éléphant dans un jeu de quilles. L'homme dans la biodiversité*. Paris, Seuil, Science ouverte, 266 pages.
 Barnosky, A.D. et al., 2011. Has the Earth's 6th mass extinction already arrived? *Nature*, 471, 51-57.
 Blondel, J. 2005. *Biodiversité et sciences de la*

nature. Les biodiversités, objets, théories, pratiques. Paris, CNRS Editions, 23-36.

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

Boeuf, G. 2011. Specificities of the marine biodiversity. *CR Biologies*, 435-440.

Boeuf, G. 2012. L'eau dans les systèmes biologiques. *Biofutur, évolution et biodiversité*. 331, 59-61.

Butchart, S. H. M. et al., 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines, *Science*, 328, 1 164 – 1 168.

Chevassus, B., Salles, J.-M. et Pujol, J. L. 2009. *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*. Rapport Centre d'analyse stratégique, 376 p.

Chiarucci, A. et al., 2011. Old and new challenges in using species diversity for assessing biodiversity. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 366, 2426-2437.

Crutzen, P. J., and Stoermer, E. F. 2000. The "Anthropocene". *Global Change Newsletter* 41, 12-13.

CSPNB. 2012. La biodiversité à travers des exemples, services compris. MEDDTL, CGDD/DRI/SR, 184 p.

He, F. and Hubbell, S. P. 2011. Species-area relationships always overestimate extinction rates from habitat loss. *Nature*, 473, 368-371.

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

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

Mora, C. et al., 2011. How many species are there on earth and in the oceans? *PLoS Biol.*, 9 (8), e1001127.

Palumbi, S.R. 2001. Humans as the world's greatest evolutionary force. *Science*, 293, 1786-1790.

Raven, P.H. 2002. Science, sustainability and the human prospect. *Science*, 297, 954-958.

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

La création de l'IPBES par les Nations Unies en avril 2012

Par **Ghislain de Marsily**¹ et **Michel Petit**²

1. Membre de l'Académie des sciences, professeur émérite à l'université Pierre-et-Marie-Curie.
2. Correspondant de l'Académie des sciences, président de section scientifique et technique du Conseil général des technologies de l'informatique.

Le 21 avril dernier, dans la Ville de Panama, les Représentants de plus de 90 Gouvernements des Pays des Nations Unies, réunis en deuxième assemblée plénière, ont décidé la création de l'IPBES, (Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), la plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services rendus par les écosystèmes, après plusieurs années de négociations internationales. Cette nouvelle instance des Nations Unies, parfois appelée « le GIEC de la biodiversité », a été placée provisoirement sous l'égide de l'UNEP, en collaboration avec l'UNESCO, la FAO et l'UNDP. Elle est dotée de quatre missions principales :

- identifier et définir les informations scientifiques prioritaires sur la biodiversité nécessaires aux décideurs politiques, et catalyser les efforts pour développer les connaissances nouvelles ;
- réaliser des évaluations périodiques et en temps voulu des connaissances sur la biodiversité et les services écosystémiques ainsi que leurs liens réciproques ;
- soutenir la formulation et la mise en œuvre de politiques publiques en identifiant les outils pertinents pour ces politiques et les méthodologies adaptées ;
- définir les besoins prioritaires en développement des

compétences pour améliorer l'interface entre la science et les politiques publiques, et d'obtenir et de fournir des aides financières ou autres pour les besoins prioritaires directement liées à ses activités.

Le siège de cette nouvelle organisation sera installé à Bonn en Allemagne, choisie parmi les candidatures additionnelles de la France, de l'Inde, de la Corée du Sud et du Kenya. Elle sera structurée initialement avec un Bureau chargé des fonctions administratives, et un Groupe d'Experts Multidisciplinaire pour réaliser les missions scientifiques et techniques. Les règles précises de fonctionnement seront décidées à la première assemblée plénière prévue début 2013.

1. Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat, IPCC en Anglais, créé en 1988 par les Nations Unies à la demande de l'Organisation Mondiale de la Météorologie et le Programme des Nations Unies pour l'environnement
2. Programme des Nations Unies pour l'environnement
3. Programme des Nations Unies pour le Développement
4. Voir aussi <http://www.ipbes.net/>
5. En particulier l'Institut Français de la Biodiversité, et Diversitas, placée sous l'égide de l'ICSU



Depuis le printemps 2012, le Comité de l'Environnement de l'Académie des sciences s'était saisi de cette question, jugée très importante, et avait organisé des auditions des institutions françaises ou basées en France s'occupant de la création de cette nouvelle organisation. Basée sur sa propre expérience du fonctionnement du GIEC, à l'initiative de Michel Petit, ancien Président du Comité de l'Environnement et membre du Groupe d'Experts du GIEC, l'Académie avait dès juin 2011 adressé au Gouvernement Français des recommandations sur la structure que devrait prendre l'IPBES, pour en particulier que les avis et recommandations des scientifiques ne soient jamais mis sous la tutelle des représentants politiques des pays. Mais en janvier 2012, les Académies des sciences de France et d'Allemagne (la Leopoldina) décidaient de créer un groupe de travail commun sur ce sujet de la structure de l'IPBES, afin d'y garantir la réelle indépen-

dance des scientifiques au sein du nouvel établissement. Les membres de ce groupe de travail ont été, pour la France, Henri Décamps, Jean-Dominique Lebreton, Yvon Le Maho, Ghislain de Marsily et Michel Petit, ainsi que Anne Larigauderie (Diversitas). La déclaration commune des deux Académies a été adressée en mars 2012 aux gouvernements des deux Pays, du Danemark (pays président actuel l'Europe), à la Commission Européenne, aux différentes organisations des Nations Unies et à l'IAP. L'UNEP l'a ensuite diffusée à tous les délégués nationaux présents à Panama, le 16 avril. Les premiers éléments disponibles sur la structure choisie à Panama pour l'IPBES indiquent clairement que ces recommandations des deux Académies ont été entendues, au moins en partie, et qu'elles sont de plus, selon l'UNEP, en ligne directe avec les propositions qui ont été adoptées pour préparer la prochaine session plénière du début 2013 ■

IPBES : Recommandations des Académies des sciences de la France et de l'Allemagne en vue de la prochaine deuxième session de l'Assemblée Plénière (Panama, 16 avril 2012)

Les Académies des sciences nationales de la France et de l'Allemagne soutiennent sans réserve les initiatives actuelles concernant la création de l'IPBES (Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), la plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services rendus par les écosystèmes.

Les quatre fonctions principales de l'IPBES – évaluation, soutien des politiques, génération de connaissances et création de compétences – devront être intégrées pour relever les défis essentiels des changements de la biodiversité et des services rendus par les écosystèmes. Dans ce cadre général, il est indispensable que ses règles de fonctionnement interne et ses communications vers l'extérieur jouissent de la plus haute crédibilité scientifique.

Avec la prochaine session de l'Assemblée Plénière, en avril 2012 au Panama, l'IPBES atteint une étape décisive. Son programme de travail étant structuré selon les résultats de la conférence de Busan, l'IPBES aura une action innovante et tournée vers l'avenir si ce programme est appliqué de manière

appropriée, car il prendra en compte les leçons apprises dans les processus scientifiques et politiques précédents.

Pour que l'IPBES soit une réussite, l'Académie des sciences de la France et la Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina d'Allemagne formulent en commun les recommandations suivantes :

1. Assurer l'excellence et l'indépendance scientifiques de l'IPBES ainsi qu'une large participation de scientifiques et d'autres détenteurs de connaissances.

- **Assurer l'engagement scientifique le meilleur et le plus large :** Pour son fonctionnement interne et externe et, en particulier, pour ses évaluations, l'IPBES doit s'assurer de la mise en oeuvre des meilleurs connaissances scientifiques disponibles et de l'engagement des scientifiques les plus respectés. La rigueur et la qualité scientifiques doivent être les critères primordiaux de sélection ; pour la nomination d'experts, la transparence des procédures ainsi que des critères et des lignes de conduites claires seront indispensables.
- **Créer des processus rigoureux de premier examen :** Des examens préliminaires basés sur la coopération entre scientifiques, responsables de politiques et acteurs concernés sont indispensables pour assurer que les évaluations sont cohérentes avec les politiques.
- **Établir une procédure d'examen qui soit ouverte**

1. Voir UNEP/IPBES/3/3

2. Ceci devrait être basé sur l'expérience acquise dans le rapport « Millennium Ecosystem Assessment » et dans l'Evaluation Internationale de la Connaissance Agricole, Science et Technologie pour le Développement (IAASTD)

3. Référence à l'activité potentielle 15 du projet actuel sur « Eléments potentiels du programme de travail de la plateforme », UNEP/IPBES. M1/2/2

4. Référence à l'activité potentielle 9, UNEP/IPBES. M1/2/2

5. Référence à l'activité potentielle 8, UNEP/IPBES. M1/2/2

6. Référence à l'activité potentielle 2, UNEP/IPBES. M1/2/

7. Référence aux activités potentielles 13 et 14, UNEP/IPBES. M1/2/2

et transparente : Les procédures pour examiner des projets de rapports doivent être transparentes et guidées par les principes de l'évaluation par les pairs. Les leçons tirées des discussions récentes de ces procédures dans le cadre de l'IPCC devront être prises en compte. De plus, des procédures d'une gestion de qualité de la littérature n'ayant pas été examinée par des pairs doivent être développées, afin d'évaluer et d'incorporer d'autres formes de connaissances pour garantir qu'elles sont bien prises en compte.

- **Considérer les incertitudes et les opinions contraires :** Les rapports doivent exprimer clairement les hypothèses et les incertitudes liées aux résultats présentés, en particulier quand elles concernent des estimations de développements futurs. Les discussions non consensuelles doivent être rapportées ouvertement et indiquées dans les rapports.

2. Générer des connaissances par création de liaisons dès le début

- **Créer des liaisons avec des initiatives existant déjà :** Dès le début, IPBES devra chercher le soutien d'initiatives scientifiques déjà existantes à l'échelle aussi bien nationale que globale.
- **Identifier les domaines prioritaires :** Un soutien de la première heure par des activités scientifiques auxiliaires sera particulièrement important dans les domaines suivants :
 - Synthèse de l'information sur la biodiversité pour identifier et intégrer des données de biodiversité largement dispersées, et établir des archives de données ouvertes à tous.
 - Modélisation mondiale et régionale de la dynamique de la biodiversité et des services rendus par les écosystèmes, soutenue par le développement de scénarios robustes de biodiversité, particulièrement avec des liens adéquats à des scénarios de climat.
 - Evaluation et développement d'indicateurs de biodiversité et de services rendus par les écosystèmes, particulièrement pour des services ne fournissant aucun produit matériel.
- **Mise en place de soutien additionnel et innovations dans le suivi et les indicateurs :** L'IPBES devra stimuler le développement de suivis au niveau mondial et régional et des activités d'indicateurs de la biodiversité et des services rendus par les écosystèmes, en particulier celles fondées sur de nouvelles sondes et technologies, du niveau génétique à celui du paysage.
- **Développer un cadre pour des approches réellement intégratrices :** Le développement d'un cadre intégrateur, comme proposé dans l'actuel projet d'activités potentielles de l'IPBES, doit prendre en compte les perspectives différentes des sciences naturelles et sociales.

- **Soutenir la création de compétences :** Certaines régions du monde, comme cela a été vu au cours du processus de consultations et de négociations pour l'IPBES, manquent de la compétence scientifique nécessaire à la participation à des réseaux scientifiques mondiaux et aux interfaces sciences-politiques. Une des approches pour construire ces compétences est de favoriser les échanges scientifiques, qui devront être encouragés.

3. Établir des structures et des procédures efficaces dans l'IPBES

- **La structure doit s'adapter à la fonction :** Les structures et les procédures de l'IPBES doivent permettre l'intégration de ses quatre fonctions ; elles doivent ainsi être conçues pour conserver de la flexibilité. Les procédures doivent rester simples avec une certaine flexibilité dans le détail, qui permettra leur adaptation à de nouveaux besoins non prévus au départ.
- **Garantir la qualité et l'indépendance scientifiques au moyen d'un Conseil Scientifique :** Un Conseil Scientifique séparé sera un élément important dans la structure de gouvernance de l'IPBES. Il aura le rôle d'évaluer soigneusement la qualité des auteurs, des rapporteurs et d'autres experts, de gérer les processus de critique par les pairs et de s'occuper de la prise en compte et de l'évaluation d'autres formes de connaissances.
- **Se charger de collaborer avec d'autres groupes de travail *ad hoc* :** L'IPBES sera appelé à se charger de tâches très diverses qui relient ses quatre fonctions entre elles. Plutôt que de créer des groupes de travail permanents fondés sur chaque fonction, il faudra mettre en place des groupes de travail *ad hoc* qui seront basés sur différents sujets scientifiques en relation avec les quatre fonctions ; la coordination de ces fonctions différentes devra relever des responsabilités du Conseil Scientifique.
- **Créer des produits intégrant :** Les produits de l'IPBES doivent traiter et combiner des éléments de considérations morales, éthiques et économiques selon les cas.
- **Établir une procédure indépendante d'évaluation :** Afin d'y arriver, l'IPBES doit, en temps voulu, établir une procédure intrinsèque d'évaluation, qui sera utilisée par un groupe indépendant d'experts comprenant des scientifiques spécialisés dans les interfaces sciences-politiques et appartenant à des institutions scientifiques internationales reconnues.
- **Assurer la propriété aussi bien scientifique que politique :** Les rapports majeurs de l'IPBES devront être écrits par des scientifiques et ne seront pas sujets à des négociations politiques. Seul le langage des résumés pour décideurs des rapports devra être négocié en l'assemblée plénière, en citant toujours la base scientifique des avis ■

La découverte du boson de Higgs

Par **Michel Davier**

Membre de l'Académie des sciences, professeur à l'université de Paris-Sud 11, laboratoire de l'accélérateur linéaire.

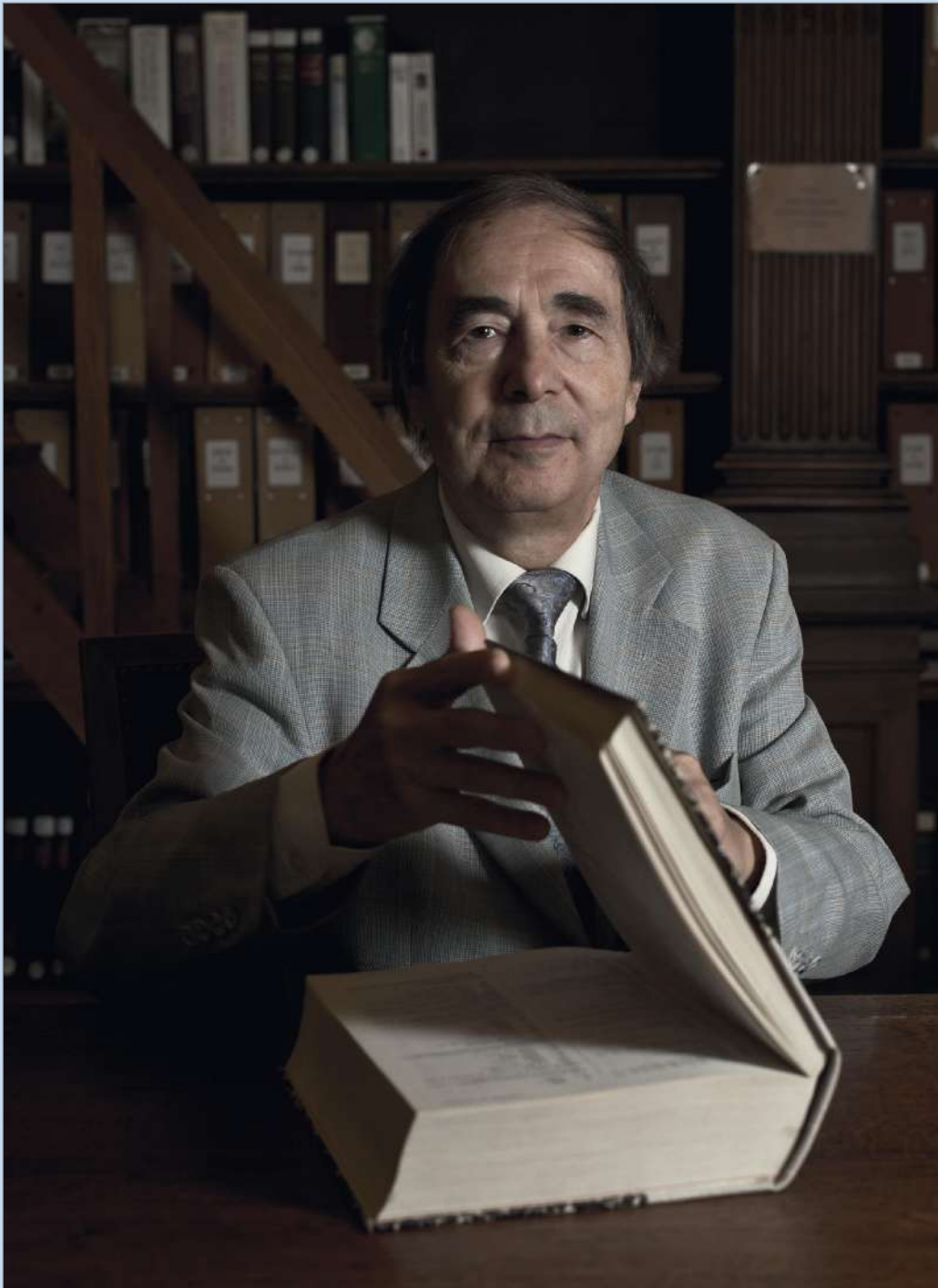
La découverte annoncée en juillet dernier au CERN d'une particule de masse 126 GeV (1) avec des propriétés compatibles avec celles du boson de Higgs a connu un grand retentissement dans les médias. Il s'agit en fait d'une avancée capitale dans la compréhension des interactions fondamentales qui régissent les lois de l'univers. Pourquoi l'existence de cette particule, depuis si longtemps recherchée par les expérimentateurs de physique des particules, revêt-elle une telle importance ?

Le Modèle Standard

Nous savons depuis 40 ans que les particules élémentaires de matière sont les leptons et les quarks, qui sont des fermions (spin $\frac{1}{2}$). Ceux-ci ne manifestent aucune structure jusqu'à des distances de 10^{-18} m, soit plus petits qu'un millièmme de la taille d'un proton. Les quarks

sont les constituants des hadrons comme le proton ou le neutron. Les leptons et les quarks se rangent dans trois familles de masses croissantes. Le lepton chargé le plus léger est l'électron et le quark le plus lourd est le quark t (top) avec 173 GeV. Le Modèle Standard des interactions entre ces particules est basé sur la théorie quantique des champs qui fait correspondre à chaque particule un champ. Les interactions se produisent par l'échange de bosons de spin 1, chaque type d'interaction ayant ses bosons spécifiques : ainsi l'interaction électrodynamique procède-t-elle par l'échange de photons. Il est remarquable que les trois types d'interactions intervenant à l'échelle microscopique (interactions forte, électromagnétique, et faible, la gravitation jouant un rôle négligeable aux énergies explorées actuellement) peuvent être décrites par des théories dites de jauge. Dans ces théories très élégantes la nature de l'interaction est obtenue en postulant l'invariance des équations par des opérations de symétrie sur les champs. Chaque interaction est associée à un groupe de symétrie bien identifié et découle donc d'un principe géométrique.

1. (1) Le GeV est une unité d'énergie, donc de masse si on choisit pour la vitesse de la lumière $c=1$; 1 GeV correspond à peu près à la masse du proton égale à 0,938 GeV.



Le problème des masses et sa solution

On peut montrer que l'invariance de jauge implique une masse strictement nulle pour le boson échangé. Alors que cette propriété est bien vérifiée pour l'électromagnétisme (photons) et l'interaction forte (gluons), elle rencontre une difficulté majeure pour l'interaction faible où les bosons W et Z , découverts au CERN en 1983, sont très lourds, respectivement 80 et 91 GeV. Ce problème majeur a été surmonté dans le cadre de l'unification électrofaible en invoquant une brisure spontanée de la symétrie (BSS)

de jauge. On rencontre déjà des exemples de BSS dans des systèmes en mécanique classique (voir par exemple, le dispositif illustré dans la Figure 1). De manière générale, un système invariant sous une certaine symétrie est dans un état stable respectant la symétrie. Mais il se peut que plusieurs états stables (minimum d'énergie potentielle) soient possibles, l'ensemble obéissant à la symétrie, mais pas chaque solution particulière. Le système devant occuper un de ces états, la symétrie de départ reste cachée et on parle donc de BSS. Une application connue de la BSS en physique quantique est la théorie de la supracon-

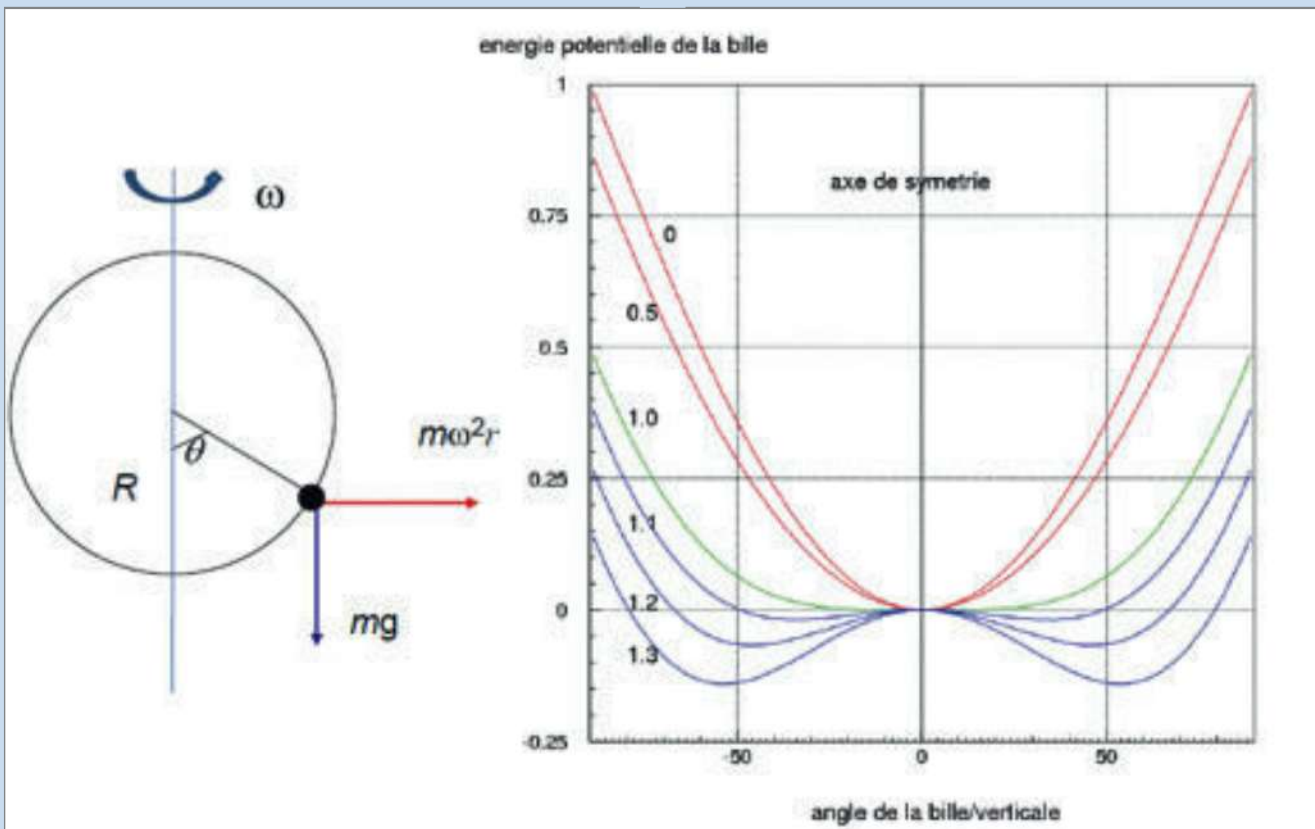


Fig. 1 : Un exemple de brisure spontanée de symétrie dans un système mécanique simple, celui d'une bille se déplaçant le long d'un guide circulaire pouvant pivoter autour d'un axe vertical. Le système est invariant par symétrie par rapport à l'axe dans le plan du guide. À faible vitesse la bille repose au point le plus bas (symétrie), mais lorsque la vitesse angulaire de rotation dépasse une valeur critique, l'état symétrique devient instable et la bille doit occuper l'une des deux positions stables où l'énergie potentielle est minimum. Chacun de ces états brise la symétrie initiale. Les courbes d'énergie potentielle sont tracées pour différentes vitesses, exprimées en fraction de la vitesse critique.

ductivité en présence d'un champ magnétique où le photon acquiert une masse effective, alors que l'électrodynamique est invariante de jauge.

L'implémentation de la solution : le mécanisme de Brout-Englert-Higgs

Cette idée de la BSS a été implémentée dans les théories de jauge par les physiciens belges R. Brout et F. Englert et le britannique P. Higgs. Pour ce faire ils ont introduit des champs de bosons scalaires (spin 0) en plus de ceux habituels de spin 1. Le minimum requis satisfaisant la symétrie de jauge est une paire de champs complexes, soit quatre champs réels. Trois de ces champs vont donner une masse aux bosons W et Z en leur fournissant une composante longitudinale de leur polarisation (on se rappelle que le champ électromagnétique est purement transverse par rapport à sa direction de propagation, une conséquence de la masse nulle du photon). Il reste donc un champ non utilisé, qui doit correspondre à une nouvelle particule de spin 0, le fameux boson de Higgs H! La brisure de symétrie apparaît dans la distribution d'énergie potentielle liée aux champs de Higgs. Dans ces conditions l'état stable du potentiel n'est plus celui qui respecte la symétrie de jauge, la valeur moyenne du champ de Higgs dans le vide atteignant des valeurs plus basses, correspondant à un état plus stable. Si le mécanisme de Higgs permet aux bosons W et Z d'acqu-

rir leur masse, il peut aussi être étendu aux fermions. Les champs de Higgs agissent donc pour générer la masse de toutes les particules élémentaires, y compris d'ailleurs celle du boson de Higgs. Le mécanisme de BSS de Brout-Englert-Higgs est la clé de voûte du Modèle Standard. Il conduit à une prédiction pour les masses des bosons W et Z qui a été vérifiée avec précision expérimentalement. Par contre les masses des fermions ne sont pas prédites par la théorie, tout comme celle du boson de Higgs lui-même, ce qui a rendu sa recherche longue et difficile à cause des limitations dans l'énergie des accélérateurs avant la mise en route du LHC (Large Hadron Collider) au CERN. Cependant des indications indirectes précieuses sur le domaine des masses probables ont pu être obtenues grâce à des mesures de précision de l'interaction électrofaible.

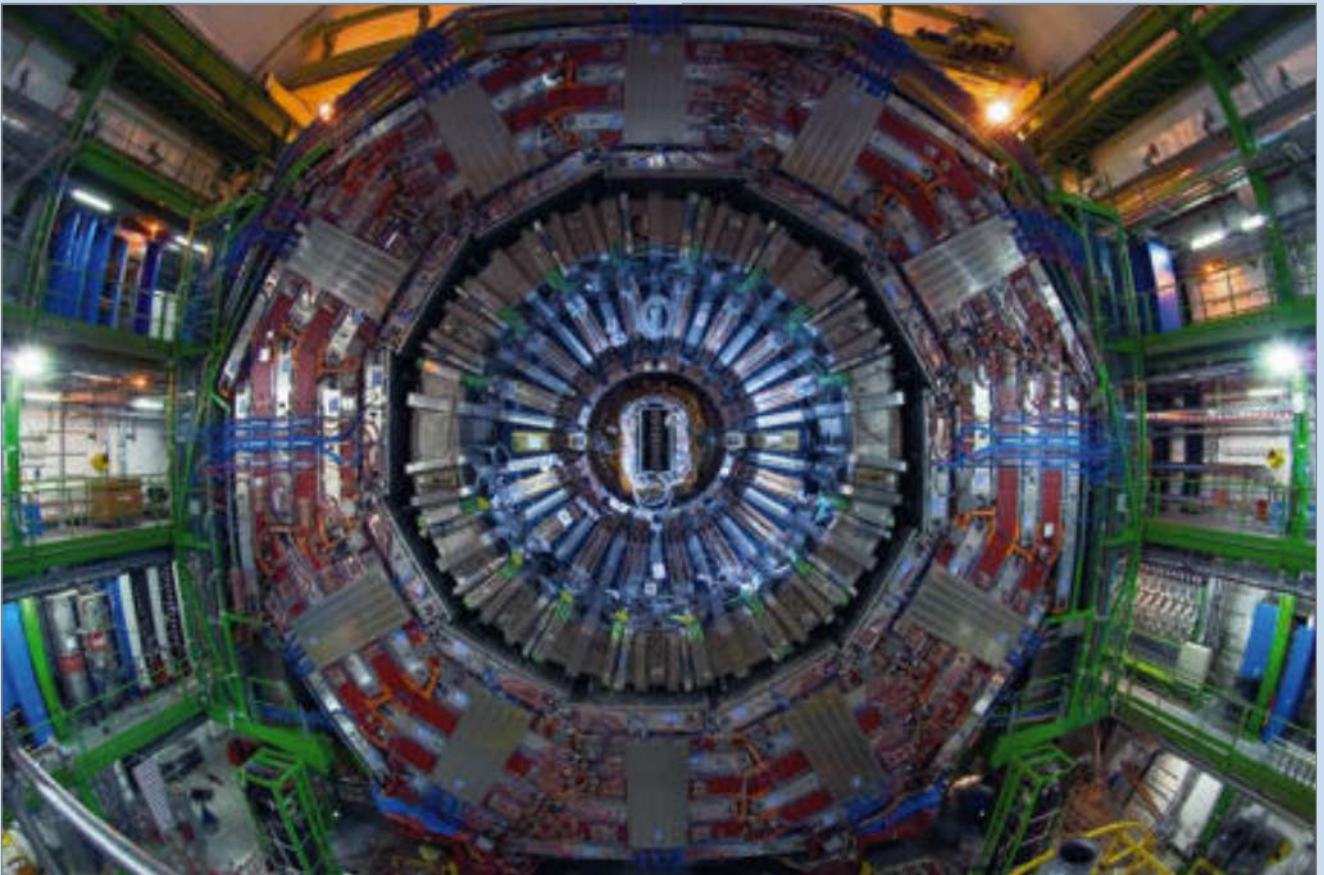


Fig. 2: Une vue de l'expérience CMS (Compact Muon Solenoid) pendant la phase de construction. On discerne les différents types de détecteurs en couches coaxiales autour de la ligne de passage des faisceaux perpendiculaire au plan de la figure. Les dimensions de l'ensemble sont de 15 m de diamètre et 21 m de long.

Des mesures de précision pour contraindre la masse du boson de Higgs

Dans le cadre du Modèle Standard, la mesure précise des masses des bosons W et Z, et de l'intensité des couplages du Z aux fermions permet d'obtenir une prédiction sur la masse du boson de Higgs. Cette connexion s'établit par le biais des fluctuations quantiques : lorsqu'un boson se propage, il peut fluctuer en paires de fermions ou de bosons. Ainsi un boson W peut-il pendant un temps très court apparaître comme un état t anti- b (les quarks b et t forment la troisième famille) ou W H. Ces fluctuations modifient l'intensité des couplages et donc la mesure de celles-ci est sensible à leurs effets, la correction dominante venant du quark t . L'excellente précision des mesures des couplages (quelques pour mille) effectuée avec le collisionneur électron-positon LEP (précision de 2×10^{-5} pour la masse du boson Z) au CERN, avec aussi un résultat important obtenu au Stanford Linear Accelerator Center, ont permis de prédire la masse du quark t . La découverte de celui-ci en 1994 au Fermi National Accelerator Laboratory avec une masse compatible avec la prédiction a été un succès prodigieux du Modèle Standard, montrant que cette théorie était fiable au niveau des fluctuations quantiques. Depuis, les mesures ont été affinées, avec une masse prédite de $(175,1 \pm 2,9)$ GeV, tout à fait compatible avec la détermination

directe $(173,2 \pm 0,9)$ GeV. Même si la sensibilité à la masse du boson de Higgs M_H est moindre (la correction quantique dépend du logarithme de M_H/M_W , alors que celle du quark t est quadratique) il est tentant de refaire l'exercice pour essayer de prédire les valeurs de M_H qui sont compatibles avec le Modèle Standard. On trouve alors que la masse du boson de Higgs doit être égale à (94 ± 25) GeV (correspondant à une masse inférieure à 153 GeV avec 95% de confiance), alors qu'*a priori* la théorie seule ne donne aucune contrainte, si ce n'est une limite supérieure vers 1000 GeV (1 TeV) au-delà de laquelle les résultats des calculs ne sont plus stables.

Non seulement le LEP a fourni des mesures de précision, mais pour la recherche directe du boson de Higgs il a permis d'exclure un large domaine de masses depuis zéro jusqu'à 114 GeV. La combinaison des résultats des deux méthodes (directe et indirecte) laisse donc ouverte une fenêtre entre 114 et 153 GeV où le boson de Higgs doit se trouver s'il est bien celui du Modèle Standard.

Les expériences au LHC

Le LHC a été construit dans le tunnel de 27 km de circonférence du LEP. Il s'agit d'un collisionneur proton-proton avec une énergie nominale de 14 TeV dans le centre de masse et des paquets de protons de forte intensité et de taille réduite afin d'augmenter la « lu-

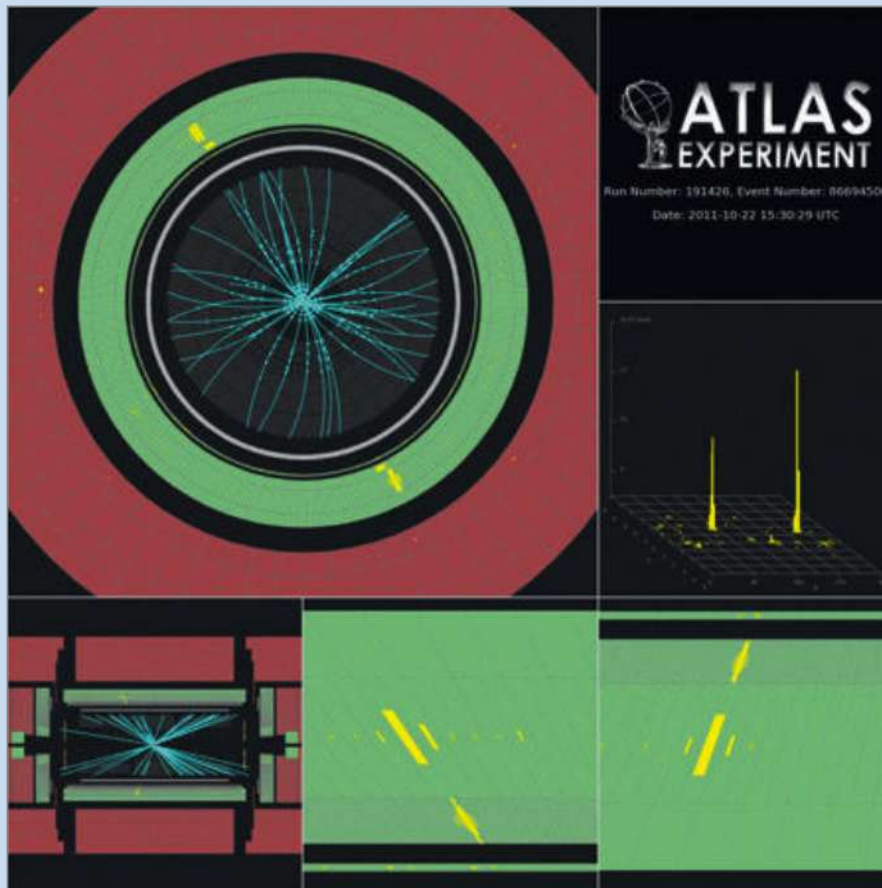


Fig. 3: Un événement de collision proton-proton compatible avec la production d'un boson de Higgs observé dans l'expérience ATLAS. Le boson se désintègre en deux photons de haute énergie, détectés par leurs gerbes électromagnétiques dans un détecteur finement divisé (l'histogramme en "lego" montre l'énergie déposée localement). Les particules chargées dont les trajectoires sont reconstruites ont une énergie relativement basse et correspondent aux débris des protons.

miniosité », une quantité proportionnelle au nombre de collisions par seconde. Le projet était très ambitieux au niveau de la technologie des 1 232 aimants de courbure supraconducteurs à haut champ (8,3 T) de 15 m de long fonctionnant à 1,9 K et du contrôle de faisceaux de grande énergie (330 MJ). Malgré un incident majeur survenu peu après la mise en route en 2008, ces défis ont été relevés et les performances n'ont cessé de s'améliorer. En 2012 le LHC a fonctionné à une énergie de 8 TeV, la luminosité ayant atteint sa valeur nominale.

Deux expériences, ATLAS et CMS, ont été conçues pour la recherche du boson de Higgs en particulier, mais aussi pour être en mesure de découvrir de nouveaux phénomènes dans ce domaine d'énergie inexploré. Chacune des expériences repose sur un ensemble de détecteurs complexes dont la construction représentait une série de gageures : (i) leur conception mécanique requiert une grande taille à cause de l'énergie élevée des particules, mais aussi une précision spatiale d'une dizaine de micromètres ; (ii) l'électronique de lecture fait intervenir un très grand nombre de canaux et une résistance aux radiations exceptionnelle ; et (iii) peut-être surtout l'informatique de traitement des données. Ce dernier point est critique car il faut

filtrer une fraction raisonnable des 50 millions d'événements produits par seconde, sans biaiser ceux que l'on recherche. Il faut gérer ensuite un flux énorme de données et les stocker pour leur analyse ultérieure. Enfin une puissance de calcul considérable, obtenue par des calculateurs distribués en réseau (grilles de calcul), est nécessaire pour reconstruire les paramètres cinématiques de toutes les particules (environ 50 particules chargées en moyenne) présentes dans chaque événement. On conçoit que cet effort n'a pu être accompli que par de grandes collaborations internationales, regroupant plusieurs milliers de physiciens. La construction des détecteurs a été partagée, l'assemblage final se faisant au CERN.

La découverte

La recherche du boson de Higgs s'apparente à celle d'une aiguille dans un amas de bottes de foin, tant le taux de production attendu est infime (environ 10^{-10}) par rapport aux autres processus dominants d'interaction forte. Cependant on est capable de prédire ce taux dans le Modèle Standard, le seul paramètre libre étant la masse du boson. La théorie prédit de même comment le boson doit se désintégrer. Il suffit donc de rechercher le signal attendu en fonction de la masse : si le nombre de candidats Higgs à une masse donnée est significativement plus petit que la valeur prédite, alors cette masse est exclue. Cependant il reste en général un bruit de fond irréductible d'événements de topologies similaires à celle du signal et dont la présence réduit l'aptitude à observer un signal statistiquement significatif. Les expériences ont commencé par exclure un large domaine de masse jusqu'à environ 600 GeV, avec une fenêtre possible vers 120-130 GeV, qui s'est resserrée de plus en plus. Enfin le 4 juillet dernier, dans un séminaire commun au CERN, les deux collaborations ont annoncé dans l'euphorie générale la découverte d'un signal probant, compatible avec celui attendu pour un boson de Higgs de masse 126 GeV.

On peut caractériser la solidité de ce résultat. Tout d'abord, le signal observé est très significatif : la probabilité d'une fluctuation statistique du bruit de fond est seulement de 10^{-9} pour ATLAS et $3 \cdot 10^{-7}$ pour CMS et, les valeurs des masses sont compatibles. Ensuite les modes de désintégration détectés sont ceux attendus à ce niveau de sensibilité, ce qui est un résultat important à cause de la spécificité de ces modes. Enfin la masse observée est bien dans l'intervalle prédit par les mesures de précision dont il a été question plus haut. Donc tout porte à croire que le mythique boson de Higgs a été enfin débusqué, un triomphe pour le Modèle Standard. Il convient cependant de rester prudent : s'il ne fait aucun doute qu'un nouveau boson a été découvert, son identification au boson de Higgs standard doit attendre des mesures plus précises de ses modes de désintégration.

Perspectives

Avant de clamer la consécration définitive du Modèle Standard, il faut donc s'assurer que les propriétés du boson découvert sont bien conformes aux prédictions théoriques. Ceci va demander une accumulation de données plus importante afin de réduire les incertitudes statistiques. C'est le programme du LHC pour les années à venir. Un certain nombre de scénarios peuvent être envisagés : soit le Modèle Standard tient bon, soit il est pris en défaut si les paramètres du boson à 126 GeV révèlent une incohérence ou/et si d'autres bosons plus faiblement produits sont mis à jour. Le se-

cond cas serait celui de théories comme la supersymétrie qui élargit le Modèle Standard, mais dont d'autres aspects ne sont pour l'instant pas mis en évidence au LHC.

Dans un futur plus lointain, des mesures de précision sur le boson de Higgs seront nécessaires pour aller plus avant, dans la mesure où le Modèle Standard contient un grand nombre de paramètres non fixés par la théorie et montre certains problèmes internes, en particulier lorsque l'on considère la possibilité d'une grande unification des interactions incluant la gravitation. Si le LHC est un formidable outil pour la recherche de nouveaux phénomènes, ce qu'il vient de prouver, il reste limité pour les mesures de précision à cause des bruits de fond importants et irréductibles. La communauté de physique des particules étudie donc depuis plus de dix ans la possibilité d'un collisionneur électron-positon d'énergie supérieure à 250 GeV qui pourrait produire un grand nombre de bosons de Higgs dans de bonnes conditions de bruit de fond ce qui permettrait des mesures très contraignantes pour caractériser la physique au-delà du Modèle Standard. Notons dans ce contexte que le boson de Higgs standard est la seule particule élémentaire de spin 0 et que ce secteur des interactions vient juste d'être dévoilé et nous réserve sans doute quelques surprises.

Terminons en mentionnant l'intérêt en cosmologie de la découverte du boson de Higgs, ou plus généralement de l'élucidation du mécanisme d'acquisition de la masse des particules élémentaires. Dans l'évolution de l'univers les champs de Higgs seraient responsables d'une transition de phase se produisant à l'échelle de l'unification électrofaible, soit 10^{-12} s après le Big Bang, au cours de laquelle les particules (hormis les photons) deviennent massives et peuvent engendrer le monde subtil dans lequel nous vivons ■

Signée par les Académies des sciences de 15 pays la déclaration commune du « G-Science »

appelle les politiques à mobiliser la recherche
sur 3 défis majeurs : Concilier les besoins en eau
et en énergie

Construire la résilience aux événements extrêmes
Améliorer les connaissances sur les gaz à effet de serre

Les Académies des sciences de 15 pays publient aujourd'hui, sous la bannière inédite de « G Science », une Déclaration commune appelant les dirigeants mondiaux qui vont se rencontrer aux Sommets successifs — à commencer par le G8, les 18 et 19 mai à Camp David (Maryland) — à accorder une place plus grande à la science et la technologie afin de relever trois des défis les plus critiques de la planète : **l'interdépendance des besoins en eau et en énergie, la résilience aux catastrophes d'origine naturelle ou technologique, la réduction des émissions de gaz à effet de serre.**

Depuis 7 ans, plusieurs Académies des sciences se réunissent quelques mois avant le sommet politique et financier du G8 afin de remettre à leurs chefs d'État et de gouvernement des recommandations sur les problèmes à fort impact socioéconomique, et à fortes composantes scientifique et technologique. Les États-Unis étant en 2012 le pays hôte du Sommet du G8, son Académie, la *National Academy of Sciences* (NAS), a invité à Washington celles du G8+5, de l'Indonésie et du Maroc, pour réfléchir sur des enjeux cruciaux (*voir ci-dessous*). Des scientifiques de tous horizons, européens, chinois, américains, russes, indonésiens, mexicains, etc. ont ainsi débattu, puis adopté cette

Déclaration commune. Ils invitent les responsables politiques à mobiliser la communauté scientifique internationale sur 3 défis où l'innovation est majeure : résoudre les besoins simultanés en eau et en énergie ; construire la résilience aux désastres d'origine naturelle ou technologique ; améliorer la connaissance des flux de gaz à effet de serre à l'échelle nationale, préalable indispensable pour atteindre des objectifs fixés à une échelle mondiale.

Le GS-Académies des sciences ou « G-Science »

Les 15 Académies réunies à Washington du 27 au 29 février 2012* ont décidé de baptiser l'assemblée annuelle des Académies des sciences « GS-Académies des sciences » ou « G-Science ». Ce nom, proposé à l'initiative du Pr Alain Carpentier, Président de l'Académie des sciences française hôte de cet événement à Paris, en 2011, manifeste la volonté d'adresser les recommandations des scientifiques non plus seulement aux pays du G8, mais à tous les dirigeants réunis lors des Sommets internationaux : G8+5, G20, Rio + 20 sur l'environnement, etc. Adoptée à l'unanimité, l'identification G-Science reflète aussi l'association d'un nombre croissant d'Académies des sciences, au

fur et à mesure de leur création dans les pays en développement, qui participent à l'expertise des enjeux locaux, régionaux et globaux de la planète.

*** Pays des 15 Académies du G-Science 2012 (G8 +5 « pays émergents » + 2 pays invités)**
 Afrique du Sud, Allemagne, Brésil, Canada, Chine, États-Unis, France, Inde, Indonésie, Italie, Japon, Maroc, Mexique, Royaume-Uni, Russie.

Trois membres de l'Académie des sciences-Institut de France présents à Washington ont pu contribuer aux trois communiqués de la *Déclaration commune du GS*, dont les recommandations sont résumées ci-après :

Lien entre énergie et eau : défi pour un futur durable

(avec la participation française de Ghislain de Marsily, membre de l'Académie des sciences)

En dehors de l'agriculture qui a besoin à la fois d'eau et d'énergie pour assurer la sécurité alimentaire, l'interdépendance de ces deux ressources n'est pas connue. Or il faut de l'eau pour faire de l'énergie, surtout fossile et électrique, et de l'énergie pour s'approvisionner en eau et traiter les eaux usées. Ne pas planifier les deux ensemble accroît le risque de pénurie des deux. Ainsi, les échanges mondiaux d'énergie, de biens alimentaires et autres marchandises ont un équivalent « eau virtuelle » qui a un impact sur la ressource locale.

Le GS-Académies des sciences préconise 4 recommandations :

1. s'assurer que les programmes sur l'eau et l'énergie sont pleinement intégrés, et que les solutions favorisent l'efficacité, le recyclage, la cohérence des besoins croissants et concurrents en nourriture et protection des écosystèmes
2. investir dans la recherche et l'innovation pour relever ces défis
3. établir des structures qui évaluent les coûts indirects des consommations en énergie et en eau, et les répercutent sur les prix,
4. développer l'accès libre aux données clefs sur l'eau et l'énergie.

Construire la résilience aux catastrophes d'origine naturelle ou technologique

(avec la participation française de Philippe Taquet, vice-président de l'Académie des sciences)

Le bilan humain et financier des catastrophes naturelles ou/et technologiques (séismes, tsunamis, ouragans, inondations, pandémies, ruptures d'infrastructures et de réseaux, accidents industriels, etc) s'alourdit, souvent aggravé par des effets en cascade et par des vulnérabilités locales (surpopulation, manque

d'information, d'organisation, d'infrastructures, destruction de milieux naturels « tampons », etc.). Pour la première fois en 2005, puis en 2008 et 2011, le coût des pertes annuelles dues aux catastrophes naturelles a dépassé 200 milliards de dollars ! Or des études scientifiques peuvent réduire les risques d'exposition et augmenter la capacité du système à réagir, c'est-à-dire sa résilience.

Le GS-Académies des sciences préconise 5 recommandations :

1. mettre en place des réseaux de surveillance permanents qui classent les risques
2. renforcer les systèmes de santé et les préparer à réagir rapidement ; surveiller les risques concernant les récoltes et les troupeaux
3. améliorer les technologies de l'information pour des avertissements rapides, voire créer des réseaux dédiés
4. minimiser la vulnérabilité des systèmes, des infrastructures modernes aux sites du patrimoine culturel et naturel,
5. développer des programmes d'aide au développement, d'éducation et de communication qui renforcent les capacités de résilience.

Améliorer la connaissance des émissions et des puits de gaz à effet de serre

(avec la participation française du Pr Alain Carpentier, président de l'Académie des sciences)

Une estimation plus précise à l'échelle nationale des flux de gaz à effet de serre (GES) est nécessaire avant tout traité international sur le climat, et pour mesurer l'efficacité des programmes de réduction de ces émissions. Après un passage en revue des trois méthodes actuelles d'évaluation (inventaires nationaux, mesures atmosphériques/océaniques, modes d'occupation des sols), et de leur fiabilité,

Le GS-Académies des sciences préconise 3 recommandations :

1. un rapport annuel, pays par pays, des mesures chiffrées sur les émissions de GES, notamment de CO₂ issu des énergies fossiles brûlées et de méthane (CH₄), issu de source industrielle et du vivant
2. une coopération internationale pour partager des méthodes et des données standardisées (au sol, par satellite, etc.)
3. des programmes de recherche internationaux et multidisciplinaires sur les flux de GES à travers les grands cycles biogéochimiques ■

Les textes originaux — en anglais — avec les signatures des 15 Présidents du GS-Académies des sciences sont en ligne sur le site de l'Académie des sciences page dédiée <http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/avis0512.htm> page d'accueil <http://www.academie-sciences.fr/>

Déclaration commune des Académies des sciences pour

le Sommet du G8 à Deauville

Dix recommandations concernant les thèmes Eau et santé et Éducation à la science, outil du développement mondial

Dans la perspective du Sommet du G8, qui se tiendra à Deauville les jeudi 26 et vendredi 27 mai prochains, les Académies des sciences de plusieurs pays du G8-G20 et celle du Sénégal, pays invité, adressent une déclaration commune à leurs dirigeants respectifs pour les presser d'agir dans les domaines critiques suivants : Eau et Santé, d'une part, Éducation à la science, outil du développement mondial, d'autre part.

La France étant en 2011, le pays hôte du Sommet du G8, il revenait à son Académie des sciences de choisir les deux thèmes proposés aux Académies partenaires. Depuis 2005 en effet, les Académies des sciences des pays du G8+ se concertent sur des sujets d'actualité à fort impact socio-économique, afin de sensibiliser les Chefs d'État et de gouvernement lors de leur réunion annuelle. De nombreux programmes publics, ou de sociétés savantes, ou d'organisations non gouvernementales s'appuient sur ces Déclarations communes (liste des thèmes page 2).

Deux groupes de travail de l'Académie des sciences, sous la présidence du professeur Alain Carpentier, ont élaboré les textes initiaux. Après discussion avec une délégation internationale venue à Paris les 24 et 25 mars derniers, ces textes ont fait l'objet d'une Déclaration commune comprenant des recommanda-

tions aux gouvernements concernés. Recevant cette délégation le 24 mars dernier¹, le Président de la République, Nicolas Sarkozy, s'était engagé personnellement « à apporter la plus grande attention aux conclusions et aux recommandations que formuleront les académies des sciences », engagement renouvelé le 19 mai.

Ces recommandations, validées par toutes les Académies représentées, sont volontairement limitées à cinq par thème. Elles sont détaillées dans la *Déclaration commune des Académies* accessible sur le site de l'Académie des sciences et résumées ci-après :

Eau et Santé

L'accès à l'eau potable et aux équipements sanitaires est un Droit de l'Homme reconnu par les Nations-Unies depuis juillet 2010. Et pourtant, presque 900 millions de personnes n'ont pas encore accès à l'eau potable, et 2,6 milliards de personnes n'ont pas accès aux installations sanitaires élémentaires. Conséquence, les maladies diarrhéiques tuent chaque année 1,5 à 2 millions d'enfants de moins de 5 ans. Face à cette situation, rendue encore plus critique par la concentration des

1. La délégation comprenait les représentants des Académies des sciences des pays du G8+ suivants : Afrique du Sud, Allemagne, Brésil, Canada, États-Unis, France, Inde, Italie, Japon, Mexique, Royaume-Uni, Russie ainsi que du Sénégal, pays invité.
Voir http://www.academie-sciences.fr/activite/inter/G8_2011.htm

déchets urbains, domestiques et industriels, les Académies des sciences préconisent de :

- développer en priorité les infrastructures sanitaires pour l'eau potable et le traitement des eaux usées, notamment dans les écoles et en milieu rural — promouvoir l'éducation et la formation à la gestion de l'eau et à la protection de sa qualité — aider à l'identification des pathogènes et à la mise au point de vaccins — soutenir le rôle déterminant des femmes dans la gestion de l'eau et de l'hygiène — améliorer l'efficacité de toute utilisation de l'eau.

Éducation à la science, outil du développement mondial

Bien des défis actuels ne peuvent être relevés que par des progrès scientifiques. L'éducation à la science et l'initiation à la démarche scientifique, nécessaires, doivent viser non seulement les futurs scientifiques, ingénieurs et autres professionnels, mais aussi l'ensemble de la po-

pulation. Pour contrer une certaine désaffection actuelle pour la science, l'alphabetisation scientifique doit être initiée à l'école et lors des études secondaires. Pour relever ces défis, les Académies préconisent de :

- favoriser la mondialisation des connaissances en aidant les pays en développement à acquérir et maintenir les infrastructures et le personnel adéquats, et pour cela, entre autres, faciliter le retour de leurs ressortissants formés à l'étranger — encourager les structures de formation à distance (*e learning*) et promouvoir un large accès aux bases de données et à la littérature scientifique — exploiter les résultats des recherches en sciences cognitives afin d'améliorer les programmes d'apprentissage — créer un réseau de centres virtuels de références en méthodes innovantes d'éducation — soutenir les programmes favorisant les échanges entre scientifiques d'une part, et la société (grand public, médias, décideurs) d'autre part ■

Historique des réunions interacadémiques du G8+

Année	Lieu : réunion interacadémique/Sommet	Thème 1	Thème 2
2005	Londres/Gleneagles (Ecosse) Royaume-Uni	Réponse globale au changement climatique	Science et technologie pour le développement de l'Afrique
2006	Moscou/Saint-Petersbourg Russie	Sécurité et pérennité de l'énergie	La grippe aviaire et les maladies infectieuses
2007	Berlin/Heiligendamm Allemagne	Promotion et protection de l'innovation dans le cadre de la compétitivité internationale	Efficacité énergétique et protection du climat
2008	Tokyo/Toyako (Hokkaido) Japon	La grippe aviaire	L'énergie
2009	Rome/L'Aquila Italie	Le changement climatique et les transformations des technologies de l'énergie pour un avenir à bas carbone	Les migrations
2010	Ottawa/Muskoka (Ontario) Canada	L'innovation pour le développement	La santé des femmes et des enfants
2011	Paris/Deauville France	Eau et santé	Accès à la science, un outil pour le développement mondial

Contact presse : Académie des sciences, Délégation à l'Information scientifique et à la communication
Bernard Meunier, Membre de l'Académie des sciences, Délégué
Marie-Laure Moinet, Chargée des relations presse, 01 44 41 45 51/44 60
presse@academie-sciences.fr
<http://www.academie-sciences.fr/>

Le Brevet, outil de l'innovation et de la valorisation : son devenir dans une économie mondialisée

Actes du colloque du 5 juillet 2011, organisé conjointement par l'Académie des sciences et l'Académie des technologies.

Éditions Tec & Doc Lavoisier.

La compétition internationale dans le domaine des sciences et des technologies, pilier de l'économie mondialisée, incite inévitablement à réfléchir sur les brevets d'invention, leur pratique et leur devenir.

Depuis plus de dix ans, l'Académie des sciences mène une réflexion sur les questions de propriété intellectuelle dans la recherche, ce qui l'a déjà conduite à organiser, avec l'Académie des sciences morales et politiques, cinq colloques sur ces questions, publiés dans la même collection.

Le 5 juillet 2011, l'Académie des sciences et l'Académie des technologies se sont associées pour consacrer un nouveau colloque aux derniers développements du droit et de la pratique des brevets, en tant qu'outils de l'innovation et de la valorisation.

Les actes de ce colloque sont consacrés dans un premier temps au droit positif des brevets d'invention et de leur valorisation. Dans un second

temps, sont examinées l'évolution, positive ou négative, que l'économie mondialisée risque de produire ou à déjà commencé de produire sur le droit actuel, de même que les réactions qu'elle suscite, ou devrait susciter, à tort ou à raison.

Pour mener ces réflexions, les académies ont fait appel aussi bien à des intervenants issus du monde de l'industrie qu'à des chercheurs et universitaires, mais également à des représentants de cabinets de brevets, de l'Office européen des brevets et de la Commission européenne.

D'élément d'une stratégie d'entreprise à une stratégie d'État, le droit des brevets, souvent encore national, est confronté à cette économie mondialisée. De celle-ci découle également la multiplication des acteurs intervenant dans ce champ d'action traditionnellement restreint aux relations entre inventeurs et employeurs d'une part, brevetés et licenciés d'autre part.

Le monopole accordé par le brevet est-il à remettre en cause ou doit-il être modifié du fait de cette évolution? Autant de questions auxquelles l'ouvrage contribue à répondre ■

UNE IMAGE



"DEMOISELLE DE NUMICIE"
MARCEL

"CHEVALERIE GAMBETTES"
ANN PENEULENEESTER
Paris 255 - 2108 110
Canton 196 - 1070 130
Canton 196 - 1070 130

MTD

*la lettre
de l'Académie
des sciences* n° 31

Été-Automne 2012



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

**Publication de l'Académie
des sciences**

23, quai de Conti 75006 PARIS

Tél. : 01 44 41 43 68

Fax : 01 44 41 43 84

http : www.academie-sciences.fr

Directeur de publication

Jean-François Bach

Directoire

Jean-François Bach

Catherine Bréchnac

Rédacteurs en chef

Paul Caro et Philippe Taquet

Secrétariat général
de la rédaction

Marie-Christine Brissot

Conception
& réalisation graphique

Nicolas Guilbert

Photographies & illustrations

p. 3, 5, 11, 16, 19, 23, 27, 37 : N. Guilbert

p. 1, 6, 7, 8, 9, 15, 28, 29, 30 : DR

couv. : CNRS photothèque

Comité de rédaction

Jean-François Bach, Édouard Brézin,
Pierre Buser, Paul Caro, Alain Carpentier,
Pascale Cossart, Anne Fagot-Largeault,
Jean-Pierre Kahane, Nicole Le Douarin,
Jacques Livage, Bernard Meunier,
Philippe Taquet

Photogravure & impression

Edipro/PrintreferenceTM

01 41 40 49 00

n° de C.P. : 0108 B 06 337

ISSN 2102-5398

Protistes, acanthaires et radiolaires coloniaux mesurant de 50 à 1500 microns. Ces êtres unicellulaires ont été collectés dans des filets à plancton dans la baie de Villefranche sur Mer à partir de l'Observatoire océanologique.

© CNRS Photothèque/Tara Océans/Noé Sardet, Christian Sardet

