

Plusieurs vagues de migrants ont participé à la colonisation des Amériques voici plus de 12 000 ans. Et la morphologie crânienne des populations les plus anciennes est proche de celle des peuples actuels de Mélanésie, d'Afrique subsaharienne et d'Australie, alors que les actuels Amérindiens sont de type mongoloïde (asiatique). Telle est la conclusion qu'avancent des chercheurs brésiliens après avoir étudié les restes de 81 individus mis au jour dans une série de sites archéologiques de la zone de Lagoa Santa dans l'État de Minas Gerais, au Sud-Est du Brésil. Les premières découvertes dans la région remontent au milieu du XIX^e siècle, et, depuis, plus d'une centaine de sites a été repérée. Voici une trentaine d'années, une mission franco-brésilienne conduite par Annette Laming-Emperaire avait entrepris plusieurs chantiers de fouilles. Mais ces travaux furent interrompus à la suite de la mort tragique de l'archéologue dans un accident d'automobile. Plus récemment le Brésil a entrepris de réaliser l'inventaire de son patrimoine préhistorique, et les autorités ont pris conscience de la richesse de la région de Lagoa Santa. Au point que vient d'être créé un parc national afin de protéger du pillage les gisements, en particulier les grottes ornées, et d'impliquer les populations locales dans les nouvelles recherches. Les restes humains étudiés par Walter Neves et Mark Hubbe, de l'Université de São Paulo, proviennent de 15 gisements, dont le plus récent daté de -5000, alors

que les plus anciens sont de -9500 à -10000. Ces crânes sont étroits et allongés, ont des orbites vastes alors que les mandibules sont prognathes, et sont donc bien différents de ceux des habitants du Nord de l'Asie et des actuels Amérindiens, qu'ils soient du Nord ou du Sud. De telles caractéristiques négroïdes ont été déjà signalées chez d'autres spécimens sud-américains primitifs, en Colombie, dans le Sud du Chili, mais aussi chez les premiers occupants de Basse-Californie et de Floride. Pour expliquer ces disparités anatomiques entre populations anciennes et récentes d'Amérique du Sud, W. Neves et M. Hubbe privilégient l'hypothèse de migrations multiples. Ils considèrent qu'il y a peu de chances qu'un processus évolutif local ait débouché sur des transformations anatomiques aussi importantes, et surtout observées de la pointe du Chili jusqu'en Floride. Il est plus plausible d'envisager que, depuis au moins 20 000 ans, au travers du détroit de Béring, plusieurs vagues de migration ont atteint les Amériques. Ce qui veut dire que l'on doit trouver trace de différentes cultures. Or effectivement, dans les plus anciens sites archéologiques, il existe une grande diversité de projectiles laissés par les chasseurs : des pointes de flèches qui étaient projetées à l'aide d'un arc, et d'autres à l'aide de propulseurs. Et ce sont là deux traditions culturelles bien différentes. Qu'avaient-ils d'autres dans leurs bagages ces premiers Amérindiens qui pourraient nous renseigner plus en détail sur leur passé ?

Les premiers Américains...

... et leurs bagages

Ces migrants ne vinrent pas sans compagnons et les mains vides : on a retrouvé chiens et Calebasses à leurs côtés. Et si *Canis familiaris* dérive de loups d'Asie, la Calebasse est issue de la domestication d'une cucurbitacée africaine, *Lagenaria siceraria*. Quelles furent les voies de diffusion et de migration de ces deux précieux auxiliaires des hommes ? Les nouveautés anthropologiques du Brésil ne nous éclairent-elles pas sur ces énigmes ? Si l'histoire des chiens semble bien débrouillée, celle de la Calebasse est loin de l'être. En premier lieu, on peut se demander quel usage en était fait : gourde de berger ? Récipient ? Flottilleur pour soutenir des filets de pêche ? Instrument de musique ? Est-elle arrivée dans le Nouveau Monde au travers de l'Asie ou directement d'Afrique avec ces peuples négroïdes évoqués plus haut ? N'a-t-elle pas pu être transportée accidentellement par des courants océaniques ? On a repéré récemment au Zimbabwe la présence d'une population sauvage de *Lagenaria siceraria*. Quant à la forme domestique utilisée comme gourde, elle a été identifiée en Asie dans des dépôts archéologiques de -7000. En Amérique centrale et du Sud, les Calebasses qui ont été trouvées dans les sites amérindiens de même âge appartiennent à la

même souche, et ont donc même origine. Il est peu probable que des Calebasses aient pu venir des côtes d'Asie et franchir le Pacifique, portées par les courants océaniques, tout en conservant des graines encore viables. Aussi pense-t-on que, dans un premier temps, la Calebasse est venue d'Afrique en Asie comme plante cultivée, non pour ses qualités nutritives, mais à cause de sa forme et de la résistance de son écorce, ce qui permet de multiples usages. Puis elle a accompagné les vagues de migrants qui ont franchi Béring et colonisé les Amériques, et on en trouve des traces datant

de 8000 ans au Mexique, en Floride et au Pérou. Ces variétés seront cultivées dans le Nouveau Monde jusqu'à la conquête coloniale.

Les chiens faisaient aussi partie du voyage. C'est au Moyen-Orient qu'existent les restes fossiles les plus anciens, datés de 13 000 ans, dans des conditions de proximité avec les restes humains qui témoignent qu'ils sont alors compagnons de l'homme. D'après les études génétiques, le loup et le chien auraient divergé il y a quelque 15 000 ans, dans l'Est de l'Asie, leur territoire d'origine, car c'est là que le chien domestique présente la plus grande diversité génétique. Ces mêmes chiens asiatiques sont présents sur les sites archéologiques d'Amérique du Nord et du Sud vieux de 10 000 ans. Mais qu'il s'agisse du chien ou de la Calebasse, l'arrivée des Européens au XV^e siècle marque un tournant. Ces derniers vont introduire de nouvelles races de chiens « européennes » qui supplanteront rapidement le stock initial d'origine asiatique ; et pour la Calebasse, ils apportent avec eux une variété africaine domestique plus récente (4000 ans), et dans ce cas aussi ces souches vont relayer les sous-espèces qu'avaient apportées d'Asie les premiers migrants. Comment s'en étonner : le colonialisme ne vise-t-il pas avant tout à remplacer ?



Paul Bert : précurseur de la médecine des mers et des airs

Paul Bert, scientifique et politique, décrit les effets de la pression sur l'organisme en altitude et en profondeur, et évita bien des accidents aux aéronautes et aux plongeurs. Il lutta pour l'accès de tous à l'éducation et rédigea les premiers manuels scolaires.

Paul Bert est le « père des plongeurs ». Né à Auxerre en 1833, il est mort à Hanoï il y a 120 ans. Dans de nombreuses villes, une rue, une place, une école ou un groupe scolaire portent son nom. Il a fondé la médecine aéronautique et, pour les plongeurs, il est la référence en matière de physiologie hyperbare, c'est-à-dire qu'il a décrit les effets des fortes pressions sur l'organisme. Dans l'introduction de son ouvrage *La pression barométrique*, il a décrit les symptômes obser-

vés chez les habitants des hautes montagnes, les alpinistes ou les premiers plongeurs, avant d'en étudier les causes physiologiques.

Paul Bert a accompli son œuvre scientifique au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle, au moment de la « République des savants ». À cette époque, les découvertes des physiciens et des chimistes permettent le développement de nouvelles sources d'énergie (la machine à vapeur, la distillation du pétrole, l'électricité), de nouveaux matériaux (les matières plastiques) et d'inventions qui transformeront la vie quotidienne (le télégraphe, le téléphone, la photographie, les transports, etc.). Les sciences de la vie ne sont pas en reste. Charles Darwin propose sa théorie de l'évolution, Gregor Mendel mène ses travaux sur l'hérédité, et les disciplines médicales, telles la pharmacologie et la radiographie, voient le jour. Les techniques chirurgicales s'améliorent grâce aux nouvelles méthodes d'anesthésie, domaine dans lequel Paul Bert est très impliqué. Les idées et les innovations se propagent dans le monde entier grâce au développement des communications. Les guerres successives, et notamment celle de 1870 entre la France et la Prusse, exacerbent les nationalismes, aboutissant à une compétition entre les pays en voie d'industrialisation. Les hommes de science sont convaincus que leurs découvertes amélioreront la société et le bien-être de chacun.

Paul Bert est l'un de ces savants. Titulaire d'un doctorat en droit en 1857, il passe un jour devant la Sorbonne, y entre et assiste à un cours de biologie sur l'évolution de l'homme et du singe. Fasciné, il décide de devenir biologiste. Il travaille avec le physiologiste Louis Pierre Gratiolet (1812-1865) à la Sorbonne, puis devient préparateur du médecin et physiologiste Claude Bernard (1813-1878) au Collège de France. Au sein de ce laboratoire renommé, il participe à de nombreuses découvertes de physiologie

1. Paul Bert (1833-1886) étudia les effets de la pression sur l'organisme, détailla les symptômes liés à un manque ou à un excès d'oxygène. Homme politique, il mit en place le certificat d'études pour que chacun atteigne un même niveau d'éducation.



Toutes les illustrations sont de la ville d'Auxerre



2. Le scaphandre autonome a été mis au point par Auguste Denayrouze et Paul Bert qui développèrent le premier régulateur de gaz. La plongée de loisir apparaîtra un siècle plus tard quand des détendeurs de mélanges respiratoires plus maniables, fondés sur ce premier modèle, seront fabriqués.

expérimentale. Son maître lui enseigne les règles des sciences expérimentales : poser des hypothèses et les valider par l'expérience. Il passe son doctorat de médecine en 1864 sur un sujet saugrenu à l'époque, la greffe animale, démontrant la possibilité de réaliser des transplants d'un animal à l'autre. En 1865, il obtient le prix de physiologie de l'Académie des sciences pour ses travaux. En 1866, sa thèse de science traite de la vitalité des tissus : ses travaux sur les gaz du sang – il s'intéresse à la respiration tissulaire et au transport de l'oxygène et du dioxyde de carbone par le sang – et sur la pression barométrique commencent.

Physiologiste et médecin

À 34 ans, muni de trois doctorats, il est le plus jeune professeur nommé par une Faculté des sciences – celle de Bordeaux. En 1867, il succède au physiologiste Jean-Pierre Flourens (1794-1867) au Muséum national d'histoire naturelle puis, en 1869, Claude Bernard obtient qu'il le remplace à la chaire de physiologie de la Sorbonne. Paul Bert se consacre alors à la physiologie de la respiration. Toute sa vie, il manifestera une admiration sans faille pour ses maîtres, et en particulier pour Claude Bernard.

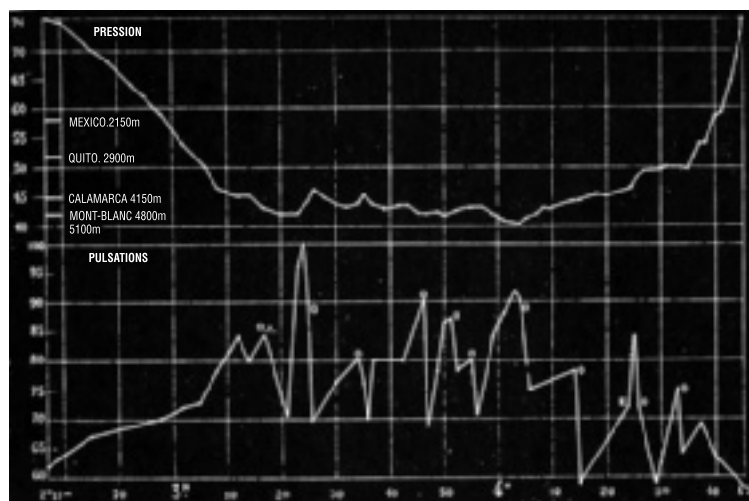


3. La nacelle du Zénith emporta les aéronautes Sivel, Croce-Spinelli et Tissandier à plus de 7 300 mètres d'altitude. Mais les explorateurs ne reçurent pas à temps la lettre de Paul Bert qui avait calculé qu'ils n'emportaient pas assez d'oxygène à bord. Ils s'écrasèrent après avoir perdu connaissance en vol.

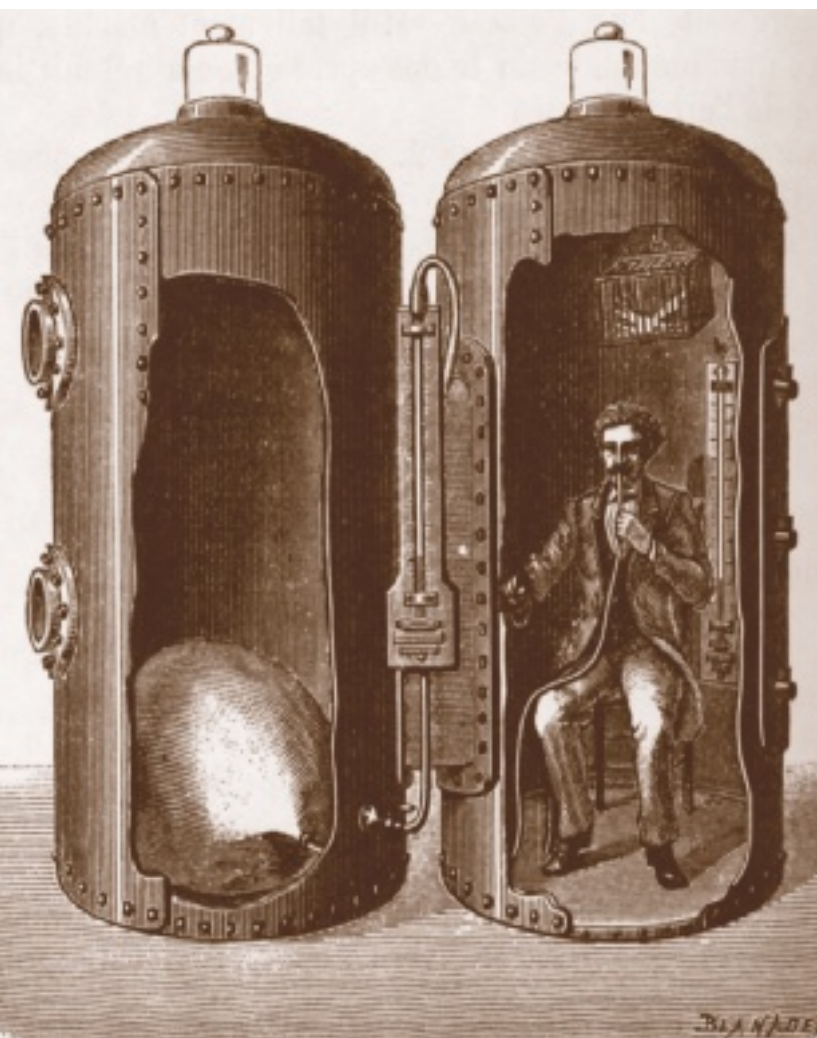
Qui plus est, grâce à Paul Bert, Claude Bernard sera le premier homme de science à recevoir des funérailles nationales en 1878.

Dans son ouvrage *La pression barométrique*, publié en 1878, Paul Bert rassemble toutes les données connues à cette époque sur les grimpeurs, les habitants de régions situées en altitude et sur les plongeurs – ceux qui, participant à la construction de ponts, doivent plonger pour installer des piliers de soutènement. Il décrit, dans les moindres détails, 670 expériences concernant l'étude des variations de la pression sur la respiration. Il y expose des conclusions prémonitoires pour l'époque et qui, pour la plupart, seront confirmées ultérieurement.

Quels ont été ses travaux sur la pression barométrique ? Il a d'abord travaillé sur l'animal grâce à un dispositif de cloches en verre où il modifiait à volonté la pression, afin d'examiner les conséquences sur l'animal. L'air est formé de 79 pour cent d'azote (N_2) et de 21 pour cent d'oxygène (O_2). Souvent, on dit que l'oxygène se raréfie en altitude, mais c'est une erreur de langage. Paul Bert montre que ce n'est pas la quantité, mais la pression partielle d'oxygène qui diminue avec l'altitude, en raison d'une diminution de la pression barométrique. Plus la pression est faible, plus



4. Les modifications du nombre de pulsations cardiaques (*tracé du bas*) en fonction de la pression en oxygène (*tracé du haut*) ont été estimées par Paul Bert. Quand la pression diminue, la quantité d'oxygène dissous dans le sang baisse également : la respiration et l'activité cardiaque sont perturbées.



5. Paul Bert dans un caisson en tôle où il expérimenta, sur lui-même, les effets des variations de pression des gaz. Il décrit tous les symptômes liés à un manque ou à un excès d'oxygène ou de gaz carbonique.

la quantité d'oxygène qui arrive dans les poumons et dans les organes diminue. Il remarque que des modifications de la pression d'oxygène se manifestent notamment par des troubles de l'activité cérébrale, et en déduit que le cerveau n'a pas de réserves d'oxygène. En outre, quand l'apport d'oxygène diminue, la proportion de dioxyde de carbone dans le sang – produit par les cellules et rejeté au niveau des poumons – augmente, provoquant l'hyperventilation imposée par l'altitude. À l'inverse, en plongée, la pression d'oxygène augmente : c'est l'effet hyperbare. L'air entrant dans les poumons se dissout d'autant plus dans le sang que la pression augmente. Il propose la première explication des accidents de décompression : quand un plongeur remonte trop vite à la surface, des bulles d'air (notamment d'azote) se forment dans les vaisseaux à mesure que la pression diminue. Quand des bulles de gaz bouchent les capillaires et bloquent la circulation du sang, une embolie pulmonaire survient (voire une embolie cérébrale grave quand le vaisseau bouché est dans le cerveau). Il faut donc remonter doucement pour limiter l'apparition des bulles de gaz dans le sang. Ces hypothèses de Paul Bert sont aujourd'hui confirmées.

Quelques heures sous les mers et dans les airs

Avec l'aide du médecin Denis Jourdanet, Paul Bert passe de l'expérimentation animale à l'application clinique. Il installe, dans son laboratoire à la Sorbonne, deux cylindres de tôle boulonnée où une pompe à vapeur modifie la pression et la composition des gaz et où un homme peut tenir debout. Il teste sur lui-même et sur ses collègues les effets de l'augmentation ou de la diminution de la pression d'oxygène, et évalue les limites de ces paramètres compatibles avec la vie. Ainsi, il décrit les effets de l'hypoxie (un manque d'oxygène responsable d'une augmentation du rythme cardiaque, de maux de tête, de nausées, de troubles visuels, psychiques et moteurs), de l'hyperoxie – l'effet toxique de l'oxygène sous pression sur le métabolisme cellulaire – et de l'hypercapnie – l'intoxication par le dioxyde de carbone.

En outre, en 1874, il prépare les aéronautes Joseph Croce-Spinelli et Théodore Sivel à une ascension de leur ballon à plus de 7 300 mètres. L'année suivante, accompagnés de Gaston Tissandier, les aéronautes tentent de monter plus haut à bord du *Zénith*... Mais ils ne reçoivent pas à temps la lettre de Paul Bert qui, grâce à ses calculs, les informe qu'ils emportent des réserves d'oxygène insuffisantes pour trois personnes. Pour économiser l'oxygène, les aéronautes choisissent de ne l'utiliser qu'en cas d'extrême nécessité. Paralysés par les différents symptômes de l'hypoxie, les aéronautes ne peuvent saisir les tubes à oxygène et perdent connaissance. Parti de Paris, le *Zénith* s'écrase dans le Cher quelques heures plus tard. Croce-Spinelli et Sivel meurent en altitude. Seul Tissandier reprend conscience à la descente. Simultanément, avec le fabricant Auguste Denayrouze, Paul Bert développe un nouveau scaphandre muni d'un régulateur de pression : les scaphandriers des grands fonds et les ouvriers travaillant

à la construction des ponts restent désormais sous l'eau sans danger pendant plusieurs heures.

Dans les années 1870, parce qu'il est médecin et que la France est en guerre, Paul Bert s'intéresse aux anesthésiques et en particulier au protoxyde d'azote, le gaz dit hilarant. Comme l'oxygène, ce gaz est dangereux quand il est respiré longtemps à forte dose. Au Muséum, Flourens découvre les propriétés anesthésiques du chloroforme, mais son utilisation chirurgicale « à la compresse » n'est pas aisée. Après quelques expérimentations chez l'animal, Paul Bert met au point un gaz anesthésique comprenant du protoxyde d'azote et de l'oxygène ; ce gaz est l'« ancêtre » des gaz anesthésiques que l'on utilise encore aujourd'hui en chirurgie. En outre, sa curiosité l'amène à étudier différents aspects de la zoologie et de la botanique ; il montre, par exemple, que la chlorophylle capte préférentiellement certains rayonnements lumineux.

Scientifique... mais aussi politique

Paul Bert a mené une autre carrière qui lui vaut d'avoir son nom sur de nombreux édifices publics. L'humiliation de la défaite de 1870 le conduit en effet vers la politique, ce qui ne l'empêche pas de poursuivre ses activités scientifiques. La République des savants entreprend diverses réformes de l'enseignement scientifique et médical, et tente de mettre en place des instituts de recherche capables de rivaliser avec ceux de l'Angleterre et de l'Allemagne.

Il mène, en tant que député de l'Yonne, une campagne très agressive contre l'enseignement dispensé par l'Église qui réfute les sciences. On lui doit les textes de lois sur la laïcité (lois Jules Ferry), ainsi que l'accession des jeunes filles à l'éducation supérieure (lois Camille Sée). Luttant pour que tous les Français aient un même niveau d'éducation, il crée le certificat d'études. Sous Gambetta, il est nommé ministre de l'Instruction publique et des cultes (novembre 1881 – janvier 1882). Avec Jules Ferry, il est le père fondateur de l'école gratuite, laïque et obligatoire. Ami du chimiste Marcelin Berthelot (1827-1907) et du microbiologiste Louis Pasteur (1822-1895) et enseignant lui-même, il rédige les premiers manuels scolaires destinés à l'enseignement scientifique. En 1886, il est nommé résident général dans deux colonies françaises, l'Annam et le Tonkin. Travailleur infatigable, il souhaite y instaurer une société nouvelle, fondée sur les acquis scientifiques de la fin de ce siècle. Mais il meurt de dysenterie à Hanoï le 11 novembre 1886, huit mois seulement après son arrivée. Ses funérailles nationales seront célébrées à Auxerre le 15 janvier 1887.

Le tribun, l'homme politique engagé, parfois détesté pour son arrogance et sa fougue, soulevant tant de passions politico-religieuses pour son combat anticlérical, a sans doute masqué l'homme de science. L'enthousiasme et la haine conjugués ont effacé la gloire de ce savant singulier. Pourtant, c'est pendant les heures les plus noires de notre pays, en 1942, que le commandant Jacques-Yves Cousteau (1910-1997) et les Américains exhument l'œuvre



6. Une des premières anesthésies au masque avec un mélange gazeux composé de protoxyde d'azote et d'oxygène.

scientifique de Paul Bert ; pour construire des avions volant à haute altitude et des sous-marins performants, il faut faire face aux problèmes de la vie dans des conditions anormales de pression et de l'immersion. Aujourd'hui, l'effet Paul Bert (ou crise hyperoxique, l'oxygène en trop forte concentration étant mortel) est connu par tous les adeptes de la plongée sous-marine ; l'Agence spatiale américaine et la Société américaine de physiologie et de médecine hyperbares décernent chaque année un prix Paul Bert pour des recherches en physiologie dans l'espace. Enseignants, scientifiques, politiques, plongeurs, aviateurs, cosmonautes, tunneliers, médecins réanimateurs et anesthésistes, sportifs des airs et des mers, tous se réfèrent – en le sachant ou non – à Paul Bert.

William ROSTÈNE est directeur de recherche en neuroendocrinologie dans l'unité INSERM 732, à l'Hôpital Saint-Antoine à Paris.

J.C. LE PÉCHON, *Risques liés à la respiration des mélanges gazeux hyperoxiques*, in *INRS Hygiène et sécurité du travail*, pp. 89-94, 2004.

S. KOTOVTCHIKHINE, *Paul Bert et l'instruction publique*, Éditions Universitaires de Dijon, 2002.

P.L. SERVETTAZ, *Paul Bert, un génie de caractère*, in *Océans*, vol. 156, pp. 98-99, 1986.

M. CHABEUF, *La vie ardente de Paul Bert*, Éditions Barre-Dayez, Paris, 1982.

J. COLIN, *Paul Bert*, in *Pour la Science*, n° 12, octobre 1978.

Intervention de Paul Bert à la Chambre des députés, le 4 décembre 1880, en qualité de rapporteur du projet de loi sur le principe de laïcité appliqué à l'enseignement primaire obligatoire : <http://www.assemblee-nationale.fr/histoire/7eb.asp>

À l'heure de la cybertaxonomie

Pour répondre au défi de la gestion de la biodiversité, l'accès aux collections, aux bibliothèques et aux données doit être modernisé et généralisé.



La biodiversité traverse actuellement une crise sans précédent depuis 65 millions d'années. Que l'on se fonde sur le nombre d'espèces de vertébrés éteintes depuis le XVII^e siècle ou sur la réduction de superficie des forêts tropicales, on estime le taux d'extinction entre 2 000 et 30 000 espèces par an. L'extinction de la moitié des espèces vivantes d'ici la fin du siècle est probable. Il est difficile de percevoir ce changement. Cataclysmique à l'échelle géologique, il est relativement lent à l'échelle d'une génération humaine. De plus, la majorité des organismes vivants sont très petits et nous avons tendance à les inclure dans des catégories – « microbes », « plancton », « insectes », etc. – qui ne rendent pas du tout compte de leur diversité.

Plus grave, nous ne mesurons que depuis moins de 20 ans l'étendue de notre ignorance : c'est seulement en 1984 qu'une projection simple, mais que nul n'avait faite auparavant, a montré que nous sous-estimons le nombre d'espèces vivantes d'au moins un ordre de grandeur. Suivant les estimations les plus récentes et les plus fiables, ce nombre se situe entre 6 et 60 millions, alors que moins de deux millions d'espèces sont connues et décrites.

Face à ces chiffres, on peut s'interroger. Cette ignorance est-elle si grave ? Est-il vraiment nécessaire d'en savoir plus sur la diversité des espèces ? À la première question, on ne sait pas vraiment répondre : on ignore aujourd'hui combien d'espèces, et lesquelles, sont nécessaires pour que l'humanité continue à se nourrir, à se reproduire et même à respirer – puisque la composition de notre atmosphère est déterminée par l'ensemble de la biosphère. Cependant, le simple fait que nous ignorons le nombre d'espèces nécessaires à notre survie devrait nous inciter à porter plus d'attention à la biodiversité.

Certes, afin de préserver autant que possible la biodiversité, des actions concrètes et immédiates (protection de certains sites ou de certaines espèces par exemple) sont nécessaires. Mais lesquelles ? Une bonne connaissance de la biodiversité est indispensable pour faire des choix pertinents.

Autrement dit, afin de gérer les écosystèmes dans une perspective de développement durable, nous devons chercher à en savoir le plus possible sur les espèces – leur nombre, leurs propriétés biologiques, leur classification qui permet de prédire ces propriétés. Tel est le rôle dévolu à la taxonomie depuis le XVIII^e siècle. Or cette science n'est aujourd'hui pas en état de répondre au défi posé.

Dans le monde entier, les taxonomistes décrivent et nomment moins de 20 000 espèces en tout chaque année. Si l'on table sur un nombre total d'espèces vivantes de l'ordre de 20 millions (une estimation moyenne), il faudrait alors un millénaire pour tout décrire. Cela ne servirait pas à grand-chose dans l'urgence de la situation actuelle, et de toute façon la plupart des espèces auront disparu sans laisser de trace avant même d'être récoltées.

Une première réaction face à ce problème est de réclamer plus de moyens. Incontestablement, le désintérêt de la communauté scientifique a mis la taxonomie dans une misère dont il faut d'abord la sortir. Mais cela ne suffit pas. Il ne faut pas seulement faire plus, il faut aussi faire mieux : améliorer les méthodes, les techniques et les infrastructures de la taxonomie. Le filet à papillons n'est pas le seul outil des naturalistes. La taxonomie a en particulier besoin des collections des grands muséums d'histoire naturelle et jardins botaniques.

Les collections de spécimens et les bibliothèques qui les accompagnent ont été constituées depuis deux siècles, à un coût cumulé qui dépasse probablement celui de la conquête spatiale. Indispensables, elles stockent et rassemblent pour les chercheurs non seulement les échantillons dont ils ont besoin, mais aussi les connaissances de leurs prédécesseurs.

Or seuls ceux en mesure de visiter physiquement les collections et bibliothèques ont pleinement accès à ces connaissances. C'est un premier goulot d'étranglement. Supprimons-le par deux moyens : d'abord en soutenant les visites de chercheurs d'autres institutions, à l'instar de ce que fait la Commission européenne avec le programme *Synthesys* d'accès aux très grandes infrastructures de recherche ; mais aussi et surtout, pour l'avenir, par l'informatisation et la