

Archéologie

Falaise, premier château normand en pierre ?

A 30 kilomètres au Sud de Caen se trouvent Falaise et son château ducal, que plus de 40 000 visiteurs viennent découvrir chaque année. La réfection d'une partie des remparts a conduit les archéologues de la Direction régionale des affaires culturelles (DRAC) à prouver que la première fortification du château remonte à la fin du X^e siècle.

L'indice clef de cette ancienneté est l'appareillage en *opus piscatum* (arête de poisson) de certaines parties du rempart, c'est-à-dire à base de pierres inclinées à 45 degrés, en changeant de sens à chaque strate successive. Découverts à la base du rempart, donc dans la toute première enceinte, de minuscules charbons de bois ont pu être datés au carbone 14 entre 960 et 1020. Or, à cette époque, les guerriers dressaient presque toujours des donjons de bois au sommet d'une motte ou de tout promontoire naturel, l'entouraient d'une palissade de bois et ménageaient éventuellement une basse-cour ceinte d'une autre palissade pour permettre aux roturiers qu'ils protégeaient de s'y réfugier. Dominant l'agglomération qui s'est peu à peu constituée à ses pieds, le château de Falaise présente exactement cette structure, sauf qu'il fut très tôt érigé en pierre. Pour le médiéviste Pierre Bouet, de l'Université de Caen, cette constatation illustre de façon spectaculaire la puissance des premiers ducs de Normandie, car sur plus de 500 fortifications normandes contemporaines du premier château de Falaise, à peine cinq sont bâties en pierre, en chaux et en sable.

→ F. S.



Vue des remparts Est et des pierres en *opus piscatum* [flèche].

Ville de Falaise

Médecine

Infertilité féminine : deux molécules identifiées

Cinq à dix pour cent des couples connaissent des difficultés pour concevoir un enfant, et dans deux tiers des cas, l'infertilité est féminine. Dans trois cas sur quatre, il s'agit d'un syndrome des ovaires polykystiques, une pathologie ayant plusieurs causes possibles, mais qui aboutit en général à une absence d'ovulation. Heng-Yu Fan et ses collègues, de l'École de médecine Baylor à Houston aux États-Unis, ont identifié deux enzymes nécessaires à l'ovulation et aux mécanismes qui en découlent.

Pour qu'il y ait fécondation, un spermatozoïde doit rencontrer un ovule. À chaque cycle menstruel, dans l'ovaire, un follicule (un agrégat de cellules contenant un ovocyte) se développe et grossit; quand il est mature, l'ovocyte est libéré. Dans la trompe qui conduit à l'utérus, cet ovocyte est prêt à être fécondé par un spermatozoïde.

Deux hormones libérées par une glande du cerveau, l'hypophyse, permettent au follicule de se développer: la folliculostimuline participe à la maturation du follicule, et la lutéinostimuline provoque la rupture du follicule et la libération de l'ovocyte. Si la maturation du follicule s'arrête, l'ovulation n'a pas lieu.

H.-Y. Fan et ses collègues se sont intéressés au follicule lui-

même et aux cellules qui entourent l'ovocyte. Au moment de l'ovulation, les cellules folliculaires se transforment et produisent des hormones indispensables à l'implantation de l'embryon et à la poursuite de la grossesse quand il y a fécondation. Différents facteurs de croissance et la lutéinostimuline – qui permet la rupture du follicule – activent une voie de signalisation cellulaire, dite des MAP kinases (pour *mitogen-activated proteins*): il s'agit des enzymes MAPK3 ou ERK1 (pour *extracellular-regulated kinase*) et MAPK1 ou ERK2, dont on vient de découvrir le rôle essentiel dans l'ovulation.

Comment les biologistes l'ont-ils montré ? Ils ont créé des souris où ERK2 et ERK1 sont inactivées uniquement dans les cellules entourant l'ovocyte. Ces souris sont stériles et présentent plusieurs anomalies des ovaires: la maturation des ovocytes est stoppée et l'ovulation n'a pas lieu. Ainsi, l'absence des protéines ERK, *in vivo*, empêche la lutéinostimuline d'activer les gènes contrôlant l'ovulation. L'identification de ce mécanisme cellulaire essentiel à l'ovulation devrait permettre de mieux comprendre les causes des pathologies touchant l'ovaire.

→ B. S.-L.

H.-Y. Fan et al., *Science*, vol. 324, pp. 938-941, 2009

DERNIÈRE minute ...

NANODIAMANTS FLUORESCENTS

Les molécules fluorescentes permettent notamment de suivre des molécules biologiques et leurs interactions. Mais elles ont souvent une courte durée de vie en raison de leur réactivité chimique. Or des physiciens français et allemands ont pu fabriquer en grande quantité des nanodiamants fluorescents stables. Ils ont rendu fluorescents des microdiamants indus-

triels par irradiation électronique à haute énergie et un recuit, puis ont réduit la taille des microdiamants pour en faire des nanoparticules, sans altérer leurs propriétés.

AMPOULES DOPÉES AU LASER

Bombarder au laser ultrabref un métal noir augmente l'émission lumineuse quand ce métal est incandescent. C. Guo et ses collègues, de

l'Université de Rochester, l'ont constaté en irradiant avec un faisceau femtoseconde le filament de tungstène d'une lampe à incandescence. À la surface du métal, le faisceau produit des nanostructures dont l'effet est d'amplifier l'émission lumineuse; elles peuvent aussi être exploitées pour modifier la couleur de la lumière. Une ampoule de 60 watts ainsi traitée éclaire autant qu'une ampoule de 100 watts.

Retour sur des sujets déjà traités dans nos colonnes

→ TOUCHER POUR APPRENDRE

Il y a un an, l'équipe d'Édouard Genot, à Grenoble, montrait que les enfants reconnaissent et mémorisent mieux des formes géométriques s'ils les apprennent en les voyant et en les touchant (voir *Apprendre en touchant*, *Pour la Science*, septembre 2008, p. 14). Aujourd'hui, elle obtient des résultats semblables avec des adultes (*PloS One*, mars 2009), montrant que le toucher facilite l'apprentissage de la lecture – d'une langue étrangère par exemple. Les chercheurs ont demandé à une trentaine d'adultes francophones d'apprendre 15 stimulus visuels inconnus, inspirés de lettres japonaises, et les 15 sons correspondants; certains travaillent uniquement en voyant les « pseudolettres », les autres utilisent le toucher et la vision. Les participants apprennent bien ces stimulus quelle que soit la méthode. Puis les chercheurs ont mesuré les performances de chaque adulte lors de deux tests mesurant leurs capacités à apprendre des associations entre stimulus visuels et auditifs; les partici-

pants ayant appris les stimulus de façon multisensorielle reconnaissent mieux le son correspondant à un stimulus visuel, et inversement. Le toucher permet de mieux connecter la vision et l'audition.

→ DE JEUNES SUPERNOVAE

Les supernovae de type Ia seraient des explosions de naines blanches, elles-mêmes étant des étoiles de type solaire en fin de vie. Elles exploseraient quand elles absorbent trop de matière d'une étoile compagnon. Comprendre les mécanismes de ces explosions est essentiel aux astronomes, car la luminosité intrinsèque des supernovae est constante, de sorte que ces objets célestes servent d'indicateurs pour estimer des distances entre galaxies (voir *Supernovae: des explosions énigmatiques*, *Pour la Science*, octobre 2005). Aujourd'hui, avec un nouveau modèle, des astronomes chinois confirment l'origine des supernovae de type Ia et le fait que la moi-

tié d'entre elles explosent moins de 100 millions d'années après la période de formation des étoiles majeures de leur galaxie (*Royal Astronomical Society*, avril 2009). Ils montrent que les supernovae « jeunes » correspondent à des naines blanches attirant du matériel d'une étoile compagnon à hélium, émettant dans le bleu, et que c'est seulement dans ce cas que l'explosion a lieu moins de 100 millions d'années après la période de formation des étoiles.

→ IMMORTELLE BACTÉRIE !

Toute l'information permettant à une cellule de vivre est enfermée dans son ADN, que celle-ci soit une composante d'un organisme ou qu'elle soit seule, telle une bactérie. Quand l'ADN est lésé, il faut qu'il soit vite réparé pour que la cellule survive ou ne devienne pas « tumorale »; pour ce faire, un système de réparation dit SOS, présent dans toutes les cellules, permet à l'ADN de rester fonctionnel (voir *SOS génome: réparation et évolution*, *Pour la Science*, mars 2000). Une

bactérie, *Deinococcus radiodurans*, est experte en réparation, car elle survit aux rayonnements ionisants, à une déshydratation extrême, aux produits toxiques et à d'autres agents endommageant l'ADN. Quand elle est exposée à des doses de rayonnements 1 000 fois supérieures au seuil mortel pour l'homme, son ADN se dégrade en centaines de fragments, puis « ressuscite ». Comment fait-elle? Des chercheurs français ont montré que cette réparation de l'ADN implique quatre enzymes présentes non seulement chez cette bactérie, mais aussi dans toutes les cellules (*Cell*, mars 2009). L'inactivation de chacune de ces enzymes suffit pour que la bactérie ne résiste plus à des rayonnements énergétiques. Deux enzymes déclenchent la synthèse d'ADN, deux autres réparent et répliquent les fragments d'ADN endommagés; puis les chromosomes se reforment. *Deinococcus radiodurans* utilise donc les mêmes enzymes que n'importe quelle cellule, de façon plus efficace et plus précise... Mais on en ignore la raison.

→ Bénédicte Salthun-Lassalle

→ DES ESPÈCES MARINES MENACÉES ?

De nombreuses espèces marines – le corail, des algues, des foraminifères, des coccolithophores, des ptéropodes (de petits escargots), etc. – sont des organismes calcaires dotés d'un squelette de calcite et d'aragonite. Or une partie du dioxyde de carbone libéré dans l'atmosphère – par la combustion des énergies fossiles – se dissout dans les océans où il augmente l'acidité de l'eau et diminue la disponibilité en ions carbonates nécessaires à la synthèse de ces squelettes calcaires (voir *L'acidification des océans: l'écosystème menacé*, *Pour la Science*, mai 2006). Plusieurs études ont montré que ce phénomène diminue la calcification des espèces marines. Des biologistes australiens ont comparé le poids des coquilles de foraminifères piégées dans des sédiments datant d'il y a 10 000 ans à celui de coquilles récupérées dans une couche récente de sédiments (*Nature Geoscience*, mars 2009). Ce dernier est 30 à 35 pour cent inférieur, et cette diminution de la calcification dépend bien des concentrations atmosphériques en dioxyde de carbone. En outre, une autre équipe, américaine, a montré que les particules en suspension dans l'air (le cuivre, l'azote, le fer, le phosphore) favorisent la croissance du phytoplancton ou, à l'inverse, le détruisent; tout dépend de l'espèce et de l'aérosol considérés (*PNAS*, mars 2009). Par exemple, les particules de cuivre sont toxiques pour la cyanobactérie *Synechococcus*, mais inoffensives pour *Prochlorococcus*. L'influence de l'atmosphère sur l'écosystème marin reste à explorer.

Les foraminifères (ci-contre) et les coccolithophores (en haut) ont un squelette calcaire.



Steve Gschmeissner, Photo researches, Inc.



Woods Hole Oceanographic Institution

POINT DE VUE

Pour une égyptologie égyptienne

L'égyptologie égyptienne devient le fer de lance de l'égyptologie mondiale. Les égyptologues de France doivent accompagner le mouvement.

Guillemette ANDREU-LANOË

Grecs et Romains, parmi d'autres, ont puisé aux sources de la culture égyptienne antique ; aujourd'hui, les Arabes puisent à celles de la culture égyptienne moderne. La vitalité de l'Égypte ne se dément pas, et se traduit par le développement du pays, notamment de sa science. C'est pourquoi, l'archéologie en Égypte ayant évolué au cours de la décennie passée, l'égyptologie française doit faire de même : ce qui importe désormais, c'est d'accompagner les Égyptiens dans la mise en valeur de leur patrimoine archéologique, l'un des plus riches et des plus précieux de l'humanité.

En 50 ans, l'Égypte est passée de moins de 30 millions d'habitants à plus de 70. Le pays diversifie son économie autrefois essentiellement agraire. Il a découvert son potentiel touristique, et les vestiges pharaoniques y jouent un grand rôle. Alors que la culture arabe traditionnelle avait détourné les Égyptiens de leur passé préislamique, la situation a évolué. Aujourd'hui, en Égypte, des groupes d'élèves visitent les sites archéologiques, et les explications qu'ils reçoivent sont de qualité, car le pays s'est doté d'égyptologues compétents, ayant une solide formation. Dans le même temps, l'État égyptien crée les infrastructures dont a besoin sa population. Dans toutes les grandes villes qui sont aussi des cités antiques – Héliopolis, Alexandrie, Le Caire, Louxor, Assiout, Minia, Assouan, etc. – des travaux publics ou privés menés à vive allure détruisent de nombreux sites d'un grand intérêt scien-

tifique, même s'ils ne sont pas tous spectaculaires. Une autoroute à quatre voies longe aujourd'hui le temple de Karnak, et sa présence a détruit des paysages millénaires. Pays en développement, l'Égypte ne s'est pas encore dotée de lois de protection de son patrimoine archéologique, de sorte que, Alexandrie exceptée, l'archéologie préventive y est peu pratiquée.

Pour autant, les Égyptiens cherchent plus aujourd'hui à valoriser le patrimoine déjà découvert qu'à accumuler sans fin de nouveaux vestiges. Il y aurait déjà en Égypte plus de 100 000 momies sur étagères, mal entretenues, peu étudiées, en particulier sur le plan anthropologique, alors qu'elles représentent un incomparable échantillon de population antique ; les papyrus et inscriptions

ment sa permission, afin de faciliter le plus possible le sauvetage de données en perdition. Les zones géographiques prioritaires sont le Nord du Sinaï et le delta du Nil, où de nombreux sites fragiles en milieu alluvionnaire méritent d'être étudiés.

Face à cette évolution, comment doit réagir l'égyptologie française ? Tout d'abord, le sauvetage des sites et vestiges menacés doit faire partie des objectifs scientifiques. Les égyptologues britanniques et américains ont déjà bien avancé dans cette direction, puisqu'ils mènent de nombreux chantiers hors des sites prestigieux, où ils recueillent nombre d'informations essentielles, même si elles ne concernent pas l'élite pharaonique ! Ensuite, l'égyptologie française doit organiser son travail afin de faciliter la valorisation de leur patrimoine par les Égyptiens. Ainsi, notre équipe du Louvre mène des fouilles sur le site de Saqqara depuis des décennies, et il est temps qu'elle complète la connaissance approfondie qu'elle a de ce lieu et qu'elle la transmette

notamment en finalisant l'élaboration d'un plan topographique accompagné d'une lecture stratigraphique précise. Nous sommes aussi prêts à aménager ce site majeur afin de rendre sa visite possible.

Si elle veut augmenter à terme son efficacité, l'égyptologie mondiale doit se doter d'un solide fer de lance scientifique égyptien. La patrie de Champollion peut y contribuer puisque plus de 100 chercheurs français travaillent à restituer le passé égyptien. Il serait donc logique que des bourses doctorales facilitent une certaine passation du savoir scientifique vers la jeune géné-

ENTASSER ENCORE DES VESTIGES ?

Il y aurait déjà plus de 100 000 momies sur étagères, mal entretenues, peu étudiées...

déjà accumulées représentent sans doute plus d'un siècle de travail pour l'ensemble des savants du monde capables de les étudier. Dès lors, pourquoi continuer à entasser des momies, du matériel funéraire d'élite et du mobilier tiré de sites déjà connus ?

Aujourd'hui, le Conseil suprême des antiquités égyptiennes dirigé par Zahi Hawass n'accorde qu'au compte-gouttes les permis de fouilles dans les sites prestigieux : une équipe qui veut y ouvrir un chantier doit pouvoir invoquer un enjeu scientifique majeur. En revanche, partout où les vestiges sont en danger, le même Conseil accorde aisé-

ration égyptienne, malheureusement de moins en moins francophone. Cette transmission peut aussi se faire en allant enseigner en Égypte. La France, et notamment le musée du Louvre, est par ailleurs à la pointe des techniques de conservation et de restauration. Puisque l'évolution de l'archéologie égyptienne nous renvoie vers nos collections, qu'elle nous pousse à valoriser en les replaçant mieux dans leur contexte, nous pourrions faire bénéficier nos amis égyptiens de l'expérience française en ce domaine. Nous pourrions aussi leur faire partager notre savoir-faire en matière de protection et de valorisation des monuments historiques. Dans cette optique, Christophe Thiers, le nouveau codirecteur français du Centre franco-égyptien d'étude

des temples de Karnak vient de signer avec son collègue Mansour Boraïk, codirecteur égyptien du même centre, un accord concernant la formation d'inspecteurs du Conseil suprême des antiquités d'Égypte et de jeunes universitaires égyptiens. Les thèmes abordés dans ce chantier-école dérivent de l'étude scientifique des temples de Karnak menée lors des fouilles et autres chantiers conduits par le centre franco-égyptien.

Pourvu qu'elle soit quelque peu rationalisée, la coopération archéologique franco-égyptienne est prometteuse. On observe déjà que les archéologues de l'Institut national d'archéologie préventive (INRAP) sont de plus en plus souvent sollicités par les Égyptiens. Rien d'étonnant à cela : leur savoir-faire dans l'enregistrement efficace et rapide de

données archéologiques est l'un des plus grands du monde. En France, les « inrapiens » ont su démontrer que le sauvetage financé par l'aménageur est loin d'être la huitième plaie... d'Égypte. Pourquoi ne pas imaginer des missions composées d'égyptologues égyptiens et français et d'archéologues de l'INRAP qui iraient par les basses et les hautes terres pharaoniques inoculer le virus vertueux de l'archéologie préventive ? Plutôt que de nouvelles momies, c'est avant tout de cela qu'a besoin l'archéologie égyptienne...

Guillemette Andreu-Lanoë dirige le Département des antiquités égyptiennes du Musée du Louvre.



Réagissez en direct à cet article sur www.pourlascience.fr

ÉCONOMIE

Le patron est-il dépassé ?

Le bilan d'une entreprise publique n'est pas uniquement financier, et l'intérêt général est mieux représenté par un mode de gestion collectif que par un chef ou un patron.

Ivar EKELAND

Chaque époque a ses mots-clés, la nôtre comme les autres, et le mot de « patron » est certainement l'un de ceux qui la caractérisent. Quand j'étais plus jeune, je ne le trouvais guère que dans les romans de Simenon, mais aujourd'hui je ne peux plus écouter la radio, regarder la télévision ou lire le journal sans qu'on m'explique que les universités, les hôpitaux et même l'État ont besoin d'un patron, tout comme les entreprises, et que s'ils n'en ont pas, il est urgent de les réformer pour qu'ils en aient un.

Il y a 60 ans, on aurait parlé de « chef », et ce mot marque l'entre-deux-guerres tout comme le mot de « patron » marque notre société. Le but recherché est le même, empêcher les gens de penser par eux-



mêmes et les inciter à s'en remettre à un homme providentiel, mais la couverture idéologique est différente : alors que la notion de « chef » s'appuie sur des pré-supposés politiques, celle de « patron » repose sur de fausses évidences économiques. Voyons cela.

L'image que véhicule le mot « patron » est celle d'un homme qui possède son entreprise et qui la gère lui-même. Les intérêts du gestionnaire sont alors parfaitement alignés avec ceux du propriétaire, puisqu'il s'agit d'une seule et même personne. En revanche, ils ne sont alignés ni avec ceux des salariés ni même avec ceux du public : le gestionnaire n'a pas de raison de prendre en compte l'impact, positif ou négatif, de son entreprise sur l'environnement.

Ainsi, même dans ce cas, le plus simple possible, le patron n'apporte pas nécessairement les bonnes réponses, et l'État peut être conduit à intervenir dans l'intérêt général. Si maintenant on passe au cas le plus répandu, celui où l'entreprise appartient à une société, la figure du « patron » apparaît encore plus problématique, car ses intérêts ne sont plus alignés sur ceux des propriétaires. On peut penser, au contraire, que des patrons incontestés, comme Messier ou Bouton, ont pris davantage de risques que les actionnaires n'auraient souhaité, notamment parce que le système de rémunération par stock-options les exposait aux gains et non aux pertes.

Les entreprises privées, de l'épicerie du coin à la *Société Générale*, ont un seul objectif : faire du profit, et le plus grand possible. C'est le fameux *bottom line* des Américains, la dernière ligne du bilan. Les entreprises publiques, en revanche, ont une multiplicité d'objectifs. Une université doit assurer la formation initiale, la formation

continue et la recherche. Par rapport à une entreprise privée, la difficulté est triple : ces objectifs sont incompatibles (comme on a des ressources humaines limitées, si on les affecte toutes à l'enseignement, il n'en restera pas pour la recherche), ils ne sont pas mesurables immédiatement (pour juger de la qualité d'une formation, il faut attendre quelques années, pour voir comment les diplômés se sont placés), et le bénéfice que la société en tire est systématiquement sous-évalué (comment chiffrer le fait que tous les citoyens sachent lire et écrire ?).

De même, un hôpital doit dispenser des soins, former des soignants, et faire de la recherche. Cette activité multiple ne peut pas, et même ne doit pas, se résumer à un bilan financier. Si le seul but est de faire des économies, il suffit de fermer les services de réanimation et de ne plus soigner les maladies chroniques. Du point de vue économique, le seul bilan qui vaille est le bilan social, c'est-à-dire la somme des utilités que les citoyens retirent de l'activité de l'hôpital, et qui doit

tenir compte tant de l'allongement de l'espérance de vie que de l'assurance contre le risque de succomber à une maladie grave.

Ce bilan social, tant pour les hôpitaux que pour les universités, est difficile, sinon impossible, à établir. Il n'en existe pas moins, et doit servir de cadre à toute réflexion sur les politiques publiques.

Quelle conclusion en tirer sur la gestion des entreprises publiques ? Si les anges existaient, omniscients et bienveillants, il suffirait de leur confier le pouvoir. Mais depuis 10 000 ans qu'on en cherche, on n'a trouvé que des diables, et il faut donc les mettre à se surveiller les uns les autres. Cela s'appelle l'équilibre des pouvoirs, c'est la grande découverte du XVIII^e siècle, et cela marche aussi bien pour les États que pour les universités et les hôpitaux, qui doivent donc être gouvernés par des conseils où sont représentées toutes les parties prenantes, et surtout pas par des patrons.

.....
Ivar EKELAND est professeur d'économie.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Le prix de la biodiversité

Une analyse économique chiffre pour la première fois la valeur économique des « services rendus » par des écosystèmes en France.

Bernard CHEVASSUS-AU-LOUIS

Le terme de biodiversité a été forgé en 1986 par le biologiste américain Edward Wilson pour exprimer d'un seul mot la multiplicité des formes de vie terrestre : diversité des espèces, des variétés, des gènes, des associations d'espèces, mais aussi interactions de toutes ces composantes. À l'époque, on prend conscience, grâce aux collectes réalisées dans les forêts tropicales et dans les océans, que 80 à 90 pour cent des espèces restent à découvrir, particulièrement parmi

les invertébrés et les micro-organismes. En même temps, cette biodiversité diminue du fait de l'expansion des activités humaines.

Certains font aujourd'hui remarquer qu'il est difficile de mesurer le rythme de l'érosion de la biodiversité, et que les extinctions d'espèces ont jalonné l'histoire de la Terre sans que la vie disparaisse. En réalité, il est possible de caractériser, en un lieu donné, l'état de la biodiversité et son évolution à partir d'indicateurs pertinents. De tels indicateurs ont été testés et validés par exemple

par le programme européen SEBI 2010 (*Streamlining European 2010 Biodiversity Indicators*). Il est aujourd'hui incontestable que l'érosion de la biodiversité se produit à un rythme très supérieur à celui des périodes passées, et que ce rythme s'est accéléré dans la seconde moitié du XX^e siècle.

On doit, en outre, considérer que cette érosion aura des conséquences négatives pour l'humanité. Une façon de le démontrer consiste à évaluer la valeur économique des services rendus par la biodiversité : néces-

saire à la stabilité des sols, aux grands cycles biogéochimiques, elle est source de produits alimentaires, de molécules utilisables en chimie ou en pharmacie, de matières premières ; elle offre des zones de loisirs, ou stimule l'inspiration créative. Cette démarche de « monétarisation » de la nature a commencé à être popularisée en 1997 lorsque l'équipe de Robert Costanza, de l'Université du Maryland, a estimé par une série de calculs que les « services écosystémiques » de la planète valaient deux fois le produit brut mondial de l'époque.

Indiquons d'emblée que monétariser la biodiversité n'implique pas d'en faire un produit soumis au libre marché ; des régulations sont possibles et nécessaires. Cette monétarisation, en revanche, a des avantages : il devient possible de mesurer économiquement l'impact écologique des aménagements ; on peut aussi chiffrer le prix de l'inaction.

Actuellement, l'analyse économique fournit un cadre théorique et méthodologique suffisamment élaboré pour réaliser de telles estimations. On peut accorder aux services associés aux écosystèmes une valeur d'usage, à plus ou moins long terme (prélèvement de bois, contribution au cycle du carbone, valeur récréative, par exemple). Mais il faut considérer également leur valeur de non-usage, le fait que les gens accordent une valeur au fait même que la biodiversité existe, même s'ils n'en bénéficient pas. Les estimations de valeurs sont alors plus incertaines.



© Shutterstock/jean-luc

vices rendus par divers écosystèmes, selon la classification proposée par les Nations unies dans leur « Évaluation des écosystèmes pour le millénaire ».

En particulier, nous estimons que la valeur des écosystèmes forestiers, en France métropolitaine, est dans une moyenne de 970 euros par hectare et par an. Cette moyenne repose sur une estimation de divers services rendus par la forêt : prélèvement de bois et autres produits forestiers (hors gibier), fixation et stockage du carbone, rôle dans la qualité de l'eau (par exemple filtration) et services récréatifs (promenades, chasse). En revanche, la protection contre l'érosion et les crues, ou les effets sur la santé n'ont pas été évalués, faute d'études pertinentes. Autre résultat, les prairies utilisées de manière extensive ont une valeur minimale estimée à environ 600 euros par hectare et par an.

De telles valeurs monétaires pourraient freiner la perte de biodiversité à condition qu'elles soient prises en compte. Par exemple, la rémunération des services liés à ces espaces naturels pourrait rendre les élevages extensifs aussi rentables que les cultures intensives. De même, si un aménageur devait intégrer dans ses bilans le coût écologique de la construction d'une zone

d'activités ou d'une route, on pourrait éviter d'aménager des zones produisant beaucoup de services écologiques. En complément, la loi prévoit désormais la nécessité de compenser un impact écologique résiduel (provoqué malgré les mesures préventives) en restaurant un écosystème similaire.

L'analyse économique pourrait être élargie avec profit à d'autres écosystèmes. Elle est indissociable de la connaissance de l'état et de l'évolution de la biodiversité, malheureusement encore trop lacunaire. Une incertitude qui prend une acuité particulière face aux changements climatiques : les écosystèmes continueront-ils à produire les services dont nous dépendons ? La France accueille une part notable de la biodiversité mondiale, grâce à ses territoires d'Outre-mer. Elle porte ainsi une responsabilité majeure face à ces enjeux.

Bernard Chevassus-au-Louis est président du Conseil scientifique du Cirad.

Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Rapport du groupe de travail présidé par Bernard Chevassus-au-Louis. Centre d'analyse stratégique, avril 2009.

http://www.strategie.gouv.fr/article.php3?id_article=980

MONÉTARISER LA BIODIVERSITÉ n'est pas la livrer au libre marché.

Il est primordial de commencer par élaborer des valeurs de référence valables à l'échelle d'un territoire donné. C'est ce qu'a réalisé pour la France le groupe de travail que j'ai présidé pour le Centre d'analyse stratégique, en combinant les connaissances écologiques, juridiques et socio-économiques. Nous avons évalué la valeur d'usage de la biodiversité « ordinaire », celle qui n'a pas de valeur intrinsèque pour des raisons de rareté, de caractère patrimonial, etc. Pour cela, nous avons considéré les ser-

QUESTIONS OUVERTES

Les essais cliniques : pourquoi sont-ils aujourd'hui critiqués ?

Les essais cliniques servent à l'évaluation des futurs médicaments ou des nouvelles procédures de soins. Ils doivent être conduits de façon éthique, fiable et indépendante. Comment faire pour que les médecins ne soient pas tiraillés entre leur obligation de soins et leur volonté de tester de possibles traitements ?

Simone BATEMAN

Aujourd'hui, les médecins admettent généralement que tout essai clinique doit être conduit selon des principes éthiques que l'Association médicale mondiale a rassemblés, en 1964, dans un code international, la Déclaration d'Helsinki. Certains de ces principes paraissent incontestables, par exemple, le fait que toute personne sollicitée pour faire partie d'un essai doit être convenablement informée des tenants et aboutissants de l'essai, et doit donner son consentement. Si l'application de ce principe soulève quelques difficultés dans certaines circonstances, tels les essais en situation d'urgence ou en milieu psychiatrique, cela ne remet pas en cause son bien-fondé.

En revanche, les principes régissant les essais contre placebo ont fait ces dernières années l'objet de vives controverses, surtout à l'occasion de la grande révision de la Déclaration d'Helsinki qui eut lieu en 2000. Dans ces essais, certaines personnes reçoivent le médicament à tester, les autres une substance neutre, dénuée de tout effet thérapeutique – hors l'effet placebo lui-même, dont on a montré qu'il peut représenter jusqu'à 30 pour cent, voire plus, de l'efficacité thérapeutique. Les objections à certains principes sont parfois d'ordre scientifique ou concernent des essais conduits dans des contextes spécifiques, mais elles soulignent

toutes les intérêts contradictoires que soulève la recherche en milieu médical.

Les grands débats autour des rédactions successives de la Déclaration d'Helsinki (la dernière date de 2008) témoignent, malgré les polémiques, d'un souci partagé par la communauté médicale internationale de trouver un accord sur les bonnes pratiques de recherche, ce qui n'a pas toujours été le cas.

En 1966, un article publié par Henry Knowles Beecher (1904-1976) dans la revue médicale *The New England Journal of Medicine* fit sensation. Anesthésiste en chef à l'Hôpital général du Massachusetts à Boston, il présentait, sans nommer les équipes en cause, plusieurs protocoles de recherche clinique qu'il considérait comme moralement problématiques, bien que leurs résultats eussent été publiés dans des revues prestigieuses. Cet article, qu'il a eu du mal à publier, lui valut d'être vivement critiqué par ses pairs pour manquement à la discrétion d'usage dans la profession.

Toutefois, les médecins américains commencèrent à prendre conscience que la recherche clinique occupait une place croissante dans la prise en charge des malades en milieu hospitalier, et qu'elle modifiait profondément les conditions d'exercice de la médecine. D'autres révélations suivirent, moins discrètes quant à l'identité des institutions et des chercheurs incriminés. Dans presque tous les cas, les dérapages de

conduite des médecins-chercheurs concernaient une catégorie de sujets ou de patients vulnérables – personnes âgées, enfants handicapés mentaux, personnes noires.

Éviter les dérives

Certains médecins-chercheurs ont été accusés de ne pas avoir respecté la conduite à tenir lors de toute expérimentation sur des sujets humains. En effet, les protocoles de recherche incriminés violaient en plusieurs points le code de conduite établi en 1947 lors du procès de Nuremberg, qui s'inspirait, entre autres, d'un code déontologique moins connu, arrêté par l'Association médicale américaine (AMA) en 1946 : *Principles of Ethics Concerning Experimentation with Human Beings* (principes éthiques concernant l'expérimentation sur l'être humain).

Le déroulement des différents procès a mis en évidence que le code de 1947 n'était pas assez précis pour constituer une référence éthique efficace dans un contexte où la recherche thérapeutique était en pleine évolution. Une nouvelle rédaction de ces principes, la Déclaration d'Helsinki, a été élaborée en 1964 dans le cadre de travaux de l'Association médicale mondiale (WMA). Cette version a fait depuis l'objet de six révisions ; la dernière date d'octobre 2008.

Ainsi, le souci de mieux contrôler les activités de recherche en milieu hospitalier a