

d'apoptose (une autodestruction cellulaire), qui reste un défi.

Nos études récentes sur les bactéries *Deinococcus radiodurans* et *Escherichia coli* montrent que tant que la membrane cellulaire reste intacte, la cellule est récupérable, même si l'ADN est brisé en une centaine de morceaux – sa réparation peut durer plusieurs jours. Ainsi, quelle que soit la gravité des dégâts moléculaires associés à une maladie dégénérative, on pourra peut-être les réparer et ainsi arrêter (ou au moins ralentir) sa progression à n'importe quelle étape.

Quand les molécules protectrices des organismes robustes seront isolées, nous devrons encore évaluer par des essais cliniques leurs effets sur la régénération moléculaire des cellules et des organes chez l'homme. Des antioxydants sont déjà consommés comme compléments alimentaires, mais les diverses études effectuées pour évaluer leur impact, notamment sur la prévention des maladies dégénératives, ont eu des résultats contradictoires. Toutefois, leurs effets sur le vieillissement n'ont pas été analysés. En outre, aucune n'a suivi en détail les effets sur les oxydants cellulaires et sur le degré d'oxydation des protéines. Enfin, les composés antioxydants des organismes robustes sont beaucoup plus efficaces.

Les conséquences d'une vie plus longue

Nous espérons donc que ces composés permettront de ralentir le vieillissement et auront un effet préventif sur les maladies liées à l'âge, à l'instar de l'effet des vaccins contre les infections. Si nous y parvenons, l'humanité atteindra santé et longévité par un renouvellement moléculaire naturel : le vieillissement, la maladie et la mort ne seraient plus inéluctables ! En théorie, nous pourrions accéder à une forme d'immortalité, comme la méduse *Turritopsis nutricula*. Bien sûr, le système ne sera sans doute pas parfaitement efficace, de sorte que si nous n'atteignons pas l'immortalité, du moins l'espérance de vie serait notablement augmentée.

Un tel projet suscite inquiétudes et objections. La récupération des innovations du monde vivant que nous espérons effectuer est-elle un égoïsme biologique de notre espèce ? Oui, mais pas plus que la vaccination et les médicaments d'origine végétale, fongique ou bactérienne, tels les antibiotiques.

Plus généralement, comme à chaque innovation, on anticipe les questions qu'elle soulèvera. Tout le monde pourra-t-il accéder aux traitements contre le vieillissement, ou seront-ils réservés aux plus riches ? Les plus jeunes pourront-ils trouver un emploi, si leurs aînés n'en libèrent plus en partant à la retraite ? L'augmentation de la durée de vie entraînera-t-elle une surpopulation qui épuisera les ressources de la Terre ? Impossible de répondre aujourd'hui à ces questions. En matière d'emploi, rappelons seulement que jusqu'à présent, chaque innovation scientifique ou technique marquante (automobile, Internet...) a créé plus d'emplois qu'elle n'a détruit de métiers obsolètes.

Personnellement, je laisserai les générations qui profiteront d'une longue vie en bonne santé s'y adapter elles-mêmes. Peu de gens se plaignent de l'augmentation de la durée de vie suivie au cours des 150 dernières années. Nous avons fait chuter la mortalité due aux maladies infectieuses, essentiellement par la prévention. Nous utilisons sans états d'âme les prothèses mécaniques, électroniques et chimiques (les médicaments) pour pallier nos déficiences biologiques. Pourquoi aurions-nous peur de les résoudre par des méthodes biologiques ?

Vivre longtemps et en bonne santé profiterait non seulement à l'individu, mais aussi à la société : la sécurité sociale comblerait ses déficits, la vie active durerait plus longtemps, etc. Il s'agirait d'une révolution sanitaire et culturelle, portée par de « jeunes vieillards » ayant derrière eux de nombreuses décennies d'apprentissage et d'expérience de la vie. Aujourd'hui, c'est la dégradation biologique qui empêche les vieillards de rester physiologiquement jeunes et productifs. Il nous semble donc souhaitable de chercher à freiner cette dégradation. Mais n'oublions pas qu'il reste de multiples difficultés scientifiques et éthiques, et que sur les milliers de molécules à visée thérapeutique élaborées chaque année, seule une infime proportion deviennent des médicaments homologués. Les antioxydants sur lesquels nous travaillons seront-ils un jour disponibles en pharmacie ? Nous en sommes convaincus, mais, si ce n'était pas le cas, nos travaux auraient au moins eu un intérêt scientifique notable : proposer les fondements d'une théorie biologique du vieillissement. ■

TANT QUE LA MEMBRANE CELLULAIRE reste intacte, la cellule est récupérable, même si l'ADN est brisé en une centaine de morceaux.

■ L'AUTEUR



Miroslav RADMAN dirige l'équipe Biologie de la robustesse, à l'Université Paris Descartes, et est membre de l'Académie des sciences.

■ BIBLIOGRAPHIE

C. Oliver et al., Age-related changes in oxidized proteins, *Journal of biological chemistry*, vol. 262, pp. 5488-5491, 1987.

E. Sahin et al., Telomere dysfunction induces metabolic and mitochondrial compromise, *Nature*, vol. 470, pp. 359-365, 2011.

M. Radman, Au-delà de nos limites biologiques, Plon, 2011.

J. Plotkin, The lives of proteins, *Science*, vol. 31, pp. 683-684, 2011.

A. Krisko et al., Protein damage and death by radiation in *Escherichia coli* and *Deinococcus radiodurans*, *PNAS*, vol. 107, n° 32, pp. 14373-14377, 2010.

T. Kirkwood, Understanding the odd science of aging, *Cell*, vol. 120, pp. 437-447, 2005.

H. Aguilaniu et al., Asymmetric inheritance of oxidatively damaged proteins during cytokinesis, *Science*, vol. 299, pp. 1751-1753, 2003.

La sélection de livres

■ POUR LA

SCIENCE

Faites (ou faites-vous !) plaisir avec « la sélection spécial Noël » présentée par *Pour la Science*. Des beaux livres pour explorer les ponts et les routes, admirer les minéraux, ou encore jouer avec la logique et la physique.

Minéraux remarquables de la collection de la Sorbonne à Jussieu

Jean-Claude Boulliard
et Orso Martinelli

★ La collection reproduite ici avait été créée à l'instigation de Napoléon à la Sorbonne. Aujourd'hui, c'est devenu l'une des plus belles au monde. Recueil de photographies exceptionnelles, légendées de façon scientifique, ou anecdotique, cet ouvrage retrace aussi l'histoire des collections de minéraux. Il se termine par une analyse de l'art de les collectionner.



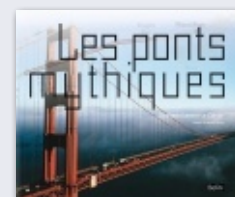
Réf. 090451*

Éditions Le Pommier 2009
254 pages – 69 euros – ISBN 978-2-7465-0451-6

Les ponts mythiques

Elisabeth Dumont-Le Cornec

Chaque pont est présenté par une fiche d'identité, des photographies, quelques faits marquants, une anecdote, une donnée statistique, ainsi qu'une carte qui illustre le propos. Cet ouvrage documentaire tout public, qui allie l'histoire, la géographie, la nature et le tourisme, permet au lecteur de partir à la découverte des ponts mythiques du monde entier !



Réf. 005988

Éditions Belin 2011
120 pages – 26,50 euros – ISBN 978-2-7011-5988-1

Maux d'artistes

Sebastian Dieguez

Existe-t-il des liens cachés entre une œuvre d'art – une peinture, une sculpture, une composition musicale ou une œuvre littéraire – et une maladie de l'esprit que présentait son auteur ? Examinant divers chefs-d'œuvre avec un regard de neuropsychologue, Sebastian Dieguez analyse plus d'une vingtaine d'œuvres de Dostoïevski, Monet, De Chirico, Proust, Van Gogh, etc.



Réf. 075101

Éditions Belin/Pour la Science 2010
176 pages – 25,40 euros – ISBN 978-2-8424-5101-1

Bâtir en terre

Laetitia Fontaine et Romain Anger

Entre science et architecture, ce livre part à la découverte de l'exceptionnel patrimoine en terre, de la mythique Shibam au Yémen, la « Manhattan » du désert, jusqu'aux étranges habitations collectives des Hakkas en Chine. Les auteurs analysent également les propriétés physico-chimiques de la terre, un « béton naturel », grâce à des expériences simples et ludiques.



Réf. 005204

Éditions Belin 2009
224 pages – 30,45 euros – ISBN 978-2-7011-5204-2

Les routes mythiques

Elisabeth Dumont-Le Cornec

De la route de la soie à la route 66 aux États-Unis en passant par la nationale 7 en France, ce beau livre documentaire propose 50 routes mythiques tracées au fil de l'histoire. Conquêtes militaires, conflit religieux, commerce, transport, autant de motifs de créer de nouvelles voies de communication. Une invitation au voyage sur les routes de légende !



Réf. 005357

Éditions Belin 2009
120 pages – 24,50 euros – ISBN 978-2-7011-5357-5

En partenariat
avec les éditeurs

Belin:
ÉDITEUR INDÉPENDANT
DEPUIS 1777



Tous ces livres sont
également disponibles
en librairie.

HISTOIRE DES SCIENCES

Wegener, le Darwin de la géologie

Contrairement à la théorie de l'évolution, l'idée d'une dérive des continents, proposée par Alfred Wegener il y a 100 ans, a mis plus de 40 ans à être acceptée. Mais l'approche du jeune météorologue présente plusieurs points communs avec celle de Charles Darwin.

Eric BUFFETAUT

Le généticien Theodosius Dobzhansky remarquait en 1973 qu'« en biologie rien n'a de sens, sauf à la lumière de l'évolution ».

De même, on pourrait dire qu'« en géologie rien n'a de sens, sauf à la lumière de la dérive des continents ». D'aucuns objecteront qu'il vaudrait mieux préciser « à la lumière de la tectonique des plaques », mais à la source de la théorie générale de l'évolution de notre planète se trouvent bel et bien les conceptions sur les déplacements continentaux, qui furent exposées pour la première fois par écrit en 1912 par un jeune météorologue allemand nommé Alfred Wegener (1880-1930).

Cette année-là en effet, Wegener publie deux articles dans des revues allemandes, l'une de géologie, l'autre de géographie, où il expose les points fondamentaux de son hypothèse : les continents n'occupent pas des positions fixes à la surface du globe, mais se déplacent comme des radeaux à la dérive. L'idée nous est devenue familière, mais pas depuis si longtemps : au début des années 1970, elle n'avait pas encore vraiment droit de cité dans les universités françaises, à de rares exceptions près. En 1912, cette conception était révolutionnaire, car si l'on admettait des mouvements verticaux de l'écorce terrestre – il fallait bien expliquer le soulèvement des montagnes –, des mouvements horizontaux capables de promener les continents sur des milliers de kilomètres étaient inconcevables pour la grande majorité des géologues.

Wegener, lui, n'était pas géologue. Après des études axées sur la physique, il s'était

tourné vers la météorologie et la climatologie. Doté d'un tempérament d'explorateur, il fut rapidement attiré par les régions arctiques. Dès 1906, il prit part à une expédition danoise au Groenland et, en 1913, il parvint à traverser l'inlandsis groenlandais, la calotte glaciaire qui couvre 80 pour cent de l'île, d'Est en Ouest. Il trouva la mort lors de sa quatrième expédition, en 1930. Outre ces explorations aventureuses, ce qui frappe dans la carrière scientifique de Wegener, c'est la diversité des sujets auxquels il s'intéressa. Ainsi, en 1921, il publia un article sur les cratères lunaires : à partir d'études expérimentales (une reconstitution de cratères par impact de cailloux dans du ciment en poudre), il défendait l'idée suivant laquelle ils avaient été formés par des impacts météoritiques, et n'étaient donc pas d'origine volcanique. L'exploration de la Lune par des vols habités lui a donné raison.

Explorateur en quête d'indices

Comment l'idée de la dérive des continents vint-elle à Wegener ? Un des facteurs déclenchants semble avoir été une observation toute simple : les côtes Est et Ouest de l'Atlantique Sud s'emboîtent de façon surprenante si on fait disparaître cet océan, le Brésil venant s'insérer dans le golfe de Guinée. D'autres avant lui l'avaient noté, et avaient même parfois envisagé des mouvements des continents (voir la figure 1). À la différence de ses prédécesseurs, Wegener cherche à aller au-delà de cette simple constatation, car sa curiosité a aussi été stimulée

par la lecture d'articles sur les ressemblances paléontologiques entre l'Afrique et l'Amérique du Sud. Il commence à accumuler des données de tous ordres pouvant indiquer une ancienne continuité entre les continents situés de part et d'autre de l'Atlantique. Cette quête d'indices occupera le chercheur allemand jusqu'à la fin de sa vie.

Il est difficile de ne pas voir là un parallèle avec la démarche d'un autre grand nom de la science, Charles Darwin (qui lui aussi avait eu des précurseurs). Les similitudes entre Darwin et Wegener ne manquent d'ailleurs pas. Le naturaliste britannique Alfred Wallace parvint au concept de sélection naturelle indépendamment de Darwin, ce qui conduisit en 1858 à une mémorable publication commune. De même, en 1910, le géologue américain Frank Bursley Taylor supposa que l'Afrique et l'Amérique du Sud, autrefois jointes, s'étaient écartées l'une de l'autre, ce qui fait que l'on a parfois parlé de la théorie de Taylor-Wegener. Mais tout comme Wallace a été éclipsé par Darwin, qui avait davantage développé son idée, Taylor, qui s'intéressait surtout à la formation des jeunes chaînes de montagnes plissées, l'a été par Wegener.

De même que Darwin passa sa vie à rechercher tous les arguments possibles en faveur de sa théorie de l'évolution par sélection naturelle, comme en témoignent ses carnets, Wegener amassa les arguments pouvant soutenir l'idée des déplacements continentaux. Après la publication de son œuvre maîtresse *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (La genèse des continents et des océans), en 1915, il fit réaliser un exem-