

Dans ce numéro
un supplément détachable :
un tableau périodique des éléments



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture



Où en serions-nous
sans la chimie ? p. 2

Planète SCIENCE

Bulletin trimestriel
d'information sur les
sciences exactes et naturelles

Vol. 9, No. 1
Janvier-mars 2011

SOMMAIRE

PLEINS FEUX SUR ...

2 Où en serions-nous sans la chimie ?

ACTUALITÉS

- 9 La pénurie d'ingénieurs menacerait le développement
- 9 Stations sismiques pour le Népal
- 10 La meilleure arme contre le cancer : une vie saine
- 11 Des experts plaident pour la recherche en géo-ingénierie
- 11 Les nappes souterraines pour atténuer la pénurie d'eau en Irak
- 11 Dix médailles en nanoscience et nanotechnologies
- 12 Onze sites rejoignent le Réseau mondial des géoparcs
- 13 De nombreux pays adoptent le Traité de Nagoya sur la biodiversité
- 14 Des experts demandent une évaluation des micro-plastiques dans l'océan

ENTRETIEN

15 Jean-Christophe Balouet enquête sur un crime environnemental

HORIZONS

- 17 Sciences sans frontières
- 21 La biodiversité en kit

EN BREF

- 24 Agenda
- 24 Vient de paraître

La chimie : notre **vie**, notre **avenir**

Lorsque deux personnes s'attirent mutuellement, on dit qu'il s'est passé une réaction chimique. Cette notion romantique n'est pas éloignée de la vérité, car non seulement nous vivons dans un monde chimique, mais nous sommes nous-mêmes de véritables usines chimiques : 99 % du corps humain se compose d'oxygène, de carbone, d'hydrogène, d'azote, de calcium et de phosphore. Ces éléments se combinent entre eux pour produire une admirable diversité de molécules qui constituent tous les organes de notre corps et nous permettent de respirer, manger, nous déplacer et penser – bref, de vivre.

Tout comme les éléments chimiques placés dans un tube à essais, ceux de notre corps réagissent aux stimuli et subissent des transformations commandées par les réactions chimiques déclenchées par le cerveau. Lorsqu'un individu affronte un danger, le cerveau fait un choix : battre en retraite ou se battre ? Des composés chimiques sont alors produits afin de préparer le corps soit au combat, soit à la fuite. Si les médicaments sont efficaces, c'est parce qu'ils entrent en réaction avec des entités chimiques particulières de notre corps pour combattre la maladie, qui peut être vue comme un désordre de la chimie corporelle.

Grâce à la chimie, la vie est devenue bien plus confortable. Nos voitures et nos habitations – nos vêtements même – regorgent des fruits de sa créativité. L'avenir de l'énergie en dépend de même que, parmi les Objectifs du millénaire pour le développement, l'accès de tous à une eau potable et à des services d'assainissement. Si l'on regarde vers le passé, ce sont les chimistes qui ont découvert les engrais grâce auxquels la production alimentaire et la croissance démographique ont pu aller de pair. Ce sont les chimistes qui ont décelé le problème majeur de notre époque, le changement climatique, en surveillant pendant des décennies le niveau du dioxyde de carbone dans l'atmosphère de la Terre.

Il n'est donc pas surprenant que le thème de l'Année internationale de la chimie, qui commence ce mois-ci, s'intitule La chimie : notre vie, notre avenir. Nous relevons le gant par un article de fond qui demande « Où en serions-nous sans la chimie ? ».

Bien sûr, les produits chimiques tels que nous les connaissons sous leurs formes domestiques ou industrielles, ou encore de laboratoire, doivent être manipulés avec circonspection, en raison de la toxicité et de la volatilité de certains composés. Dans ce numéro, nous découvrons comment la forensie environnementale réussit à remonter la piste d'un déversement de produits chimiques jusqu'à sa source, parfois plusieurs décennies après les faits.

Il n'y aurait pas d'Année internationale de la chimie, si l'Éthiopie n'avait pas soumis aux Nations unies une résolution secondée par une vingtaine d'autres pays. Coordonnée et dirigée conjointement par l'UNESCO et l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUCPA), qui fête son centenaire, l'Année marque aussi le centenaire de l'attribution du prix Nobel à Marie Skłodowska Curie. En hommage à sa mémoire, l'Année se terminera par la première représentation, au siège de l'UNESCO à Paris, d'un opéra illustrant sa vie. Entretemps, des femmes chimistes participent, le 18 janvier, à un petit déjeuner en réseau entre l'Australie, l'Égypte, et d'autres pays, où la contribution des femmes à la chimie sera honorée.

L'Année débutera officiellement à l'UNESCO les 27 et 28 janvier. Si vous désirez proposer une idée ou organiser une activité pendant l'Année, n'hésitez pas à les enregistrer sur le site officiel : chemistry2011.org.

Gretchen Kalonji
Sous Directrice générale pour les sciences exactes et naturelles

Où en serions-nous sans la chimie ?

Voici que débute la célébration de l'Année internationale de la chimie. Célébration totalement justifiée dans la mesure où la chimie a, pour chacun d'entre nous, et où que nous soyons, une grande importance. Si vous vouliez vous débarrasser de toutes les contributions de la chimie au monde moderne, vous vous retrouveriez ramené à l'âge de pierre, la vie serait courte et pénible, vous seriez sous-alimenté, le monde perdrait de ses couleurs, vous seriez vêtu de peaux de bêtes et vous n'auriez à disposition que fort peu de ces appareils qui nous distraient et nous facilitent la vie.

Je reconnais volontiers, d'entrée, que comme toute grande entreprise la chimie crée des problèmes. Elle sert à fabriquer les explosifs utilisés pour l'armement, elle produit des poisons, et les effluents de ses usines détériorent l'environnement. Dans un certain nombre de cas dramatiques des accidents ont tué et mutilé des milliers de personnes. En 1984, l'explosion de l'usine d'Union Carbide à Bhopal, en Inde a brisé des milliers de vies innocentes et ses terribles conséquences se font sentir encore aujourd'hui. La pollution de l'eau et de l'air a causé des ravages dans notre environnement. Ces méfaits et ces horreurs doivent être reconnus, mais tout progrès technologique et scientifique draine des difficultés dans son sillage. À quelques exceptions près, l'industrie chimique, ayant pris conscience de ses obligations envers l'humanité et son environnement, met tout en œuvre afin d'éviter les effets potentiellement nocifs de ses activités.

Dans cet article, je ne traiterai que des apports positifs de la chimie au monde moderne et vous laisse juge de décider si le prix à payer est trop élevé.

La chimie est la science de la matière et des changements qu'elle peut subir. En termes très généraux, les chimistes prennent de la matière sous l'une de ses formes et la restituent sous une autre forme. Dans certains cas ils tirent de la Terre de la matière brute, comme du pétrole ou du minerai, pour produire des matières dérivées, comme des combustibles et de l'acier. Ils pourraient écumer les cieux en prélevant l'azote de l'atmosphère pour en faire des engrais. Souvent ils utilisent des matériaux plus élaborés comme matière première de tissus ou de substances destinées à la haute technologie.

La chimie rend possible la vie en société

Prenez l'eau, par exemple, élément absolument indispensable à la vie. La chimie a rendu possible la vie communautaire en purifiant l'eau et en la débarrassant de ses agents pathogènes. Le chlore est le principal élément qui permette l'existence des villes : sans lui, la maladie sévirait partout et la vie urbaine serait un jeu de hasard. Les chimistes ont réussi à tirer cet élément d'une source abondante : le chlorure de sodium, le sel commun. Y a-t-il toutefois des procédés autres ? Les futurs chimistes (peut-être vous, lecteur, ou les étudiants que vous encouragez



©BASF
L'application au pistolet d'une membrane conçue par BASF sur la paroi intérieure d'un tunnel en construction, au Royaume-Uni, réduit la quantité de béton nécessaire et économise ainsi des millions d'euros en frais de construction tout en réduisant la quantité de CO₂ émis par la fabrication du ciment.

à poursuivre de telles études) réussiraient-ils à rendre possible la vie sociale sans recourir au chlore ? Il serait très souhaitable de s'en passer car c'est un allié dangereux et indigne de confiance : bien que grâce à sa puissante réactivité chimique il purifie l'eau, il attaque en même temps les autres composés et pénètre, par exemple dans la chaîne alimentaire sous forme de dioxines et composés similaires. Ceux-ci peuvent attaquer le système nerveux et s'accumuler dans les graisses corporelles. Par ailleurs, en s'élevant très haut dans l'atmosphère, le chlore et ses composés contribuent à la destruction de l'ozone et à la formation de pluies acides.

Les chimistes se trouvent à l'avant-garde de la bataille pour produire de l'eau potable à partir d'eau saumâtre, d'eaux empoisonnées dans les nappes – comme les eaux chargées d'arsenic des aquifères profonds du Bangladesh – et de la source la plus abondante de toutes, les océans, grâce aux usines de dessalement. Les chimistes ont fait des apports directs à cette entreprise vitale en mettant au point l'osmose inverse, processus par lequel une pression est exercée sur de l'eau saumâtre pour lui faire traverser une membrane filtrante et la rendre potable. Les chimistes ont également fait des apports indirects en mettant au

point les membranes améliorant l'efficacité du processus afin de réduire ses besoins énergétiques et augmenter leur durée de vie et leur efficacité. Il va sans dire que les talents légendaires d'analyse des chimistes – pour découvrir la nature des éléments en présence, dans quelle mesure ils peuvent être tolérés et quel élément essentiel doit être éliminé pour déclencher la réaction recherchée – sont déterminants dans cette entreprise.

Comment la quête d'explosifs a donné naissance à une révolution verte

Ensuite il y a l'alimentation. À mesure que la population mondiale s'accroît et que s'érode la superficie des terres productives, il devient de plus en plus important de pousser les cultures à devenir plus abondantes. Le procédé traditionnel consiste à ajouter des fertilisants. En cela, les chimistes ont fait une noble contribution en découvrant des sources d'azote et de phosphore et en faisant en sorte qu'ils soient assimilés par les végétaux. L'ingénierie génétique est encore une autre façon d'agir, mais elle reste controversée en raison des craintes qu'éprouvent certains milieux sur les effets de la manipulation de facteurs héréditaires et de la possibilité de transfert incontrôlé vers d'autres espèces. La production d'aliments provenant d'organismes génétiquement modifiés peut cependant aider à réduire l'usage de pesticides chimiques, à résister aux infections virales et à la sécheresse, et finalement, comme les croisements naturels dans l'élevage, donner des récoltes plus abondantes et plus riches en éléments utiles. L'adoption de la culture du riz doré, qui comporte des gènes de jonquilles jaunes favorisant une forte concentration des précurseurs de la vitamine A, pourrait être bénéfique à des millions de personnes de toute l'Afrique et de l'Asie du Sud-est qui souffrent de carence de cette vitamine, carence responsable de millions de morts et de milliers de cas de cécité irréversible.

L'azote est étonnamment abondant, il constitue près des trois quarts de l'atmosphère, mais il s'y trouve sous une forme qui ne peut être assimilée par la plupart des végétaux. L'une des plus grandes réussites de la chimie, opérée dès le début du 20^{ème} siècle, sous l'impulsion non du désir humaniste de nourrir, mais du désir inhumain de tuer, a été de découvrir comment extraire l'azote de l'air et lui donner une forme assimilable par les cultures. L'impulsion est venue du besoin de remplacer les nitrates extraits



©UNESCO/Fiona Ryan

Culture du riz en Chine. L'adoption de la culture du riz doré pourrait être bénéfique à des millions de personnes dans toute l'Afrique et l'Asie du Sud-est qui souffrent de carence en vitamine A.

des régions arides du Chili et utilisés comme source naturelle d'azote, par un approvisionnement bien plus abondant et sûr qui, du temps de la première guerre mondiale (1914–1918) était requis pour la fabrication d'explosifs. La mise au point en Allemagne d'un processus efficace et économique de conversion de l'azote gazeux non réactif en une forme réactive par le chimiste Fritz Haber et son compatriote l'ingénieur chimiste Carl Bosch, d'abord en

1909 puis à l'échelle industrielle en 1913, marqua un progrès décisif de l'industrie chimique car, tout en étant tributaire de la découverte de catalyseurs appropriés, la production d'engrais exigeait la construction d'une usine fonctionnant à des températures et des pressions jamais atteintes auparavant.

La découverte de l'azote réactif a révolutionné l'agriculture au 20^{ème} siècle en permettant d'accroître les rendements. Mais le procédé consomme encore beaucoup d'énergie. Il serait merveilleux que les processus observés chez les bactéries présentes dans le système racinaire de certaines légumineuses telles que le trèfle, l'alfa et les arachides puissent être imités à l'échelle industrielle pour fixer l'azote. Dans le processus naturel, l'azote est libéré sous une forme utilisable lorsque la plante qui meurt le met à la disposition des autres plantes. C'est le principe même de la rotation des cultures en agriculture traditionnelle, dont s'inspire l'agriculture organique. Les chimistes ont passé des dizaines d'années à étudier cette possibilité en opérant des dissections fines sur les enzymes qu'utilisent les bactéries, à leur manière tranquille, économe en énergie, sous faible pression et à basse température. On aperçoit des lueurs de réussite, mais si vous voulez devenir célèbre comme le chimiste qui aura résolu le problème de nourrir l'humanité, saisissez votre chance.



Reproduit avec l'aimable autorisation de Peter Trusler

Dans cette scène imaginée par le paléo-artiste Peter Trusler, un dinosaure mourait, il y a environ 110 millions d'années, alors que le pôle Sud bénéficiait d'un climat plus clément. Si le corps de cet herbivore, le Leaellynasaura amicographica, est rapidement recouvert de sédiments, il peut se fossiliser, et le phosphore de ses os sera piégé sous forme de roche phosphatée.

Recycler les animaux morts pour nourrir le vivant

Le phosphore est, lui aussi, abondant car il est le vestige d'animaux préhistoriques. Le phosphate de calcium de leurs os, dotés d'une source interne spéciale d'énergie, les molécules d'adénosine triphosphate (ATP) qui animent chacune de leurs cellules, se retrouve comprimé en énormes amas sous les océans et les continents du monde entier. Le phosphore est surtout utilisé pour produire des engrais, dérivés de roches phosphatées. La majorité des

réserves de ces roches se trouve au Maroc. À eux seuls, le Maroc et la Chine détiennent 91 % des réserves mondiales. Ainsi, en transformant les animaux fossiles en engrais, les chimistes contribuent à recycler les animaux morts pour nourrir les vivants.

Sans énergie les civilisations disparaîtraient

Après l'eau et la nourriture, nous avons besoins d'énergie. Rien ne se passe dans le monde sans énergie. Les civilisations s'effondreraient si elles venaient à en manquer. Elles progressent en utilisant des quantités de plus en plus grandes d'énergie. Les chimistes apportent leur concours, à tous les niveaux et dans tous ses aspects, à la recherche de nouvelles sources aussi bien que d'applications plus efficaces des sources disponibles.

Le pétrole fait partie des héritages du passé, en tant que résidu partiellement décomposé de matière organique, comme le plancton et les algues qui ont sombré dans les lacs et les mers, où ils ont été soumis aux effets de la chaleur et de la pression. C'est évidemment une source d'énergie extrêmement pratique car elle est facile à transporter, même dans les avions où le poids est un problème. Les chimistes participent depuis longtemps au raffinage de la matière brute, comprimée et pompée dans les profondeurs. Ils ont mis au point les processus et les catalyseurs qui ont prélevé les molécules fournies par la nature, les ont fractionnées en fragments plus volatils et les ont reconstitués de façon à ce qu'ils brûlent plus efficacement.

Mais brûler les dons enfouis de la nature pourrait être considéré par les générations futures comme la destruction pour le moins désinvolte d'une ressource inestimable. Ces dons, par ailleurs, ne sont pas illimités, et bien que l'on trouve constamment de nouvelles sources de pétrole, du moins pour le moment, leur exploitation s'avère de plus en plus risquée et coûteuse. Nous devons admettre que même si des décennies nous séparent encore de l'épuisement de la Terre, ce jour viendra. Les chimistes devront s'efforcer de mettre au point de nouvelles sources d'énergie. Les jeunes qui entrent aujourd'hui dans la profession sauront qu'ils ont de grandes occasions de marquer de leur empreinte le bien-être futur du monde et de sa population.

Vers quelles nouvelles sources les chimistes se tournent-ils actuellement ? Le Soleil, évidemment. La façon dont la Nature exploite son énergie, à savoir, la photosynthèse, est un modèle qu'il est tentant d'imiter. Les chimistes ont déjà mis au point des matériaux photovoltaïques relativement efficaces, dont ils continuent d'améliorer l'efficacité. Avec son avance de quatre milliards d'années sur les chimistes en laboratoire, la nature a déjà trouvé un système très efficace reposant sur la chlorophylle. Bien que l'on comprenne les grands principes du processus, il subsistera pour les chimistes actuels – et peut-être futurs comme vous – la difficulté d'observer l'exemple offert par la nature et de l'adapter à l'échelle industrielle. L'une des démarches consiste à utiliser la lumière du soleil pour réduire l'eau (H₂O) en ses éléments constitutifs et canaliser ou pomper l'hydrogène là où il peut être brûlé.

Je dis « brûlé ». Les chimistes savent qu'il existe des manières plus subtiles et efficaces d'utiliser l'énergie contenue dans l'hydrogène et les hydrocarbures que d'y mettre le feu pour capter l'énergie libérée sous forme de chaleur et la diriger vers un moteur mécanique ou un générateur électrique. L'électrochimie, utilisation des réactions chimiques pour produire de l'électricité et recours à l'électricité pour produire une modification chimique, représente un potentiel extrêmement important pour le monde. Les chimistes ont déjà contribué à produire des sources mobiles d'énergie : les batteries qui actionnent nos petits appareils portables, tels que torches, lecteurs de musique, ordinateurs portables, téléphones, appareils de surveillance de toutes sortes, et de plus en plus nos voitures.

Les chimistes collaborent très activement avec les ingénieurs dans la mise au point de piles à combustible à toutes les échelles, depuis le fonctionnement des ordinateurs portables jusqu'à la commande des appareils domestiques et probablement un jour, de villages entiers. Dans ces piles, l'électricité provient de réactions chimiques qui alternativement plongent les électrons dans des surfaces conductrices et les en retirent pendant que le combustible – hydrogène ou hydrocarbures – est injecté de l'extérieur. Pour être viable, une telle pile dépend entièrement de la nature des surfaces où ont lieu les réactions, et du liquide dans lequel elles sont immergées. C'est là une autre orientation de la chimie où vous, lecteur et peut-être chimiste en herbe, pourriez changer profondément l'avenir de votre pays et du monde.



© Richard Azoury/Stockphoto

Plate-forme pétrolière. De nos jours, de nombreux objets sont fabriqués en matières synthétiques dérivées du pétrole.

L'énergie nucléaire elle-même, qu'elle soit de fission ou un jour de fusion, imitation du Soleil sur la Terre, dépend des recherches des chimistes. La construction de réacteurs nucléaires pour la fission dépend de la disponibilité de nouveaux matériaux. L'extraction de combustible nucléaire sous forme d'uranium et de ses oxydes tirés du minerai fait appel à la chimie. Personne n'ignore que ce qui retarde le développement de l'énergie nucléaire et son acceptation par le public, au-delà des inquiétudes politiques et économiques, ce sont les difficultés quant aux moyens de se débarrasser des déchets radioactifs une fois le combustible utilisé. Les chimistes aident à trouver les moyens d'extraire de ces déchets les isotopes¹



Panneaux solaires sur le toit d'un stade à Baeza en Espagne

utiles et à faire en sorte qu'ils ne contaminent pas l'environnement et ne constituent pas un risque pour les siècles futurs. Si vous pouviez collaborer avec les ingénieurs atomistes pour résoudre ce problème, le monde pourrait envisager avec moins d'inquiétude les dangers de l'énergie nucléaire, et vous offririez un temps de répit à l'avènement futur de la fusion nucléaire, qui comporte moins de risques. Celle-ci consiste à faire se fracasser entre eux les isotopes de l'hydrogène et à capter l'énergie libérée lorsqu'ils fusionnent pour former de l'hélium, comme cela se passe sur le Soleil. La difficulté consiste à obtenir des hautes températures car c'est seulement à cette condition que les noyaux se heurtent suffisamment fort pour surmonter leur répulsion électrique – tout en évitant de faire fondre l'ensemble du dispositif. Le grand projet de recherche sur la fusion nucléaire, qui a lieu en France, sous le nom de Réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER) [*iter* signifie en latin le chemin], implique une collaboration internationale agissant à une échelle sans précédent, entre des pays qui représentent la moitié de la population mondiale (voir aussi page 20).

Les plastiques, un produit du pétrole

J'ai mentionné la destruction apparemment désinvolte d'une ressource inestimable lorsque le mélange organique complexe que nous appelons pétrole est pompé du sous-sol où il reposait depuis des millénaires pour être brûlé en toute indifférence. Bien entendu, ce n'est pas la totalité du pétrole qui sort des pots d'échappement de nos voitures, camions, trains et avions. Une bonne partie est extraite et utilisée comme matière première d'une impressionnante chaîne de réactions mise au point par les chimistes, et qui constitue l'industrie pétrochimique.

Regardez autour de vous et voyez ce que les chimistes ont réalisé en prenant ce pétrole brut, noir et visqueux qui

remonte de la Terre, en le soumettant aux réactions qu'ils ont mises au point et en transférant le produit vers les fabricants d'objets du monde moderne.

L'effet sans doute le plus frappant de ces processus a été l'avènement du plastique. Il y a un siècle, la vie quotidienne était faite de métal, de céramique ou de produits naturels, les objets étaient en bois, en laine, coton et soie. Aujourd'hui, quantité d'objets sont faits en plastique dérivé du pétrole. Nos vêtements sont tissés dans des matières conçues par les chimistes ; en voyage nous traînons des valises et des sacs constitués de matières synthétiques ; nos appareils électroniques, nos télévisions,

téléphones et ordinateurs portables sont tous des moulages de matières synthétiques. Nos véhicules sont de plus en plus fabriqués à partir de ces matières. Même l'aspect et le toucher du monde familier est aujourd'hui différent de ce qu'il était il y a cent ans : caressez un objet aujourd'hui et sa texture sera généralement celle d'une matière synthétique. Cette transformation, nous la devons aux chimistes.

Même si vous regrettez la mort de beaucoup de matériaux naturels, vous pouvez toujours remercier les chimistes de les avoir préservés, là où ils sont encore employés. Les matériaux naturels pourrissent mais les chimistes ont inventé des matières qui retardent leur décrépitude. De nouveaux préservateurs des arbres, par exemple, généralement à base de cuivre, ont été mis au point pour éviter les problèmes des anciens préservateurs qui fuyaient dans le sol et l'empoisonnaient avec de l'arsenic, du cuivre et du chrome.



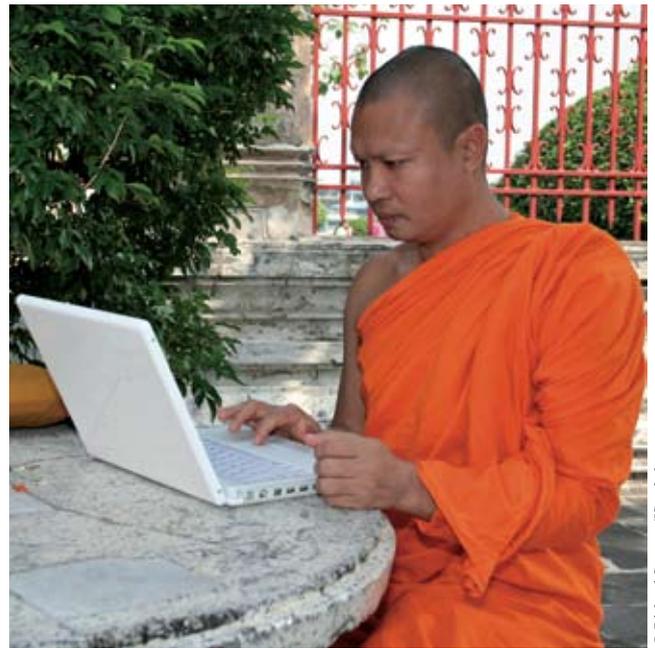
Assortiment d'objets domestiques courants. L'une des difficultés auxquelles les chimistes doivent faire face d'urgence est de réduire le cycle de la biodégradation des plastiques, des canettes d'aluminium et autres emballages. Voir aussi page 14.

Voitures plus légères, ordinateurs moléculaires et vêtements intelligents

Le plastique n'est que l'un des aspects de la révolution des matériaux qui a marqué les cent dernières années et se poursuit allègrement aujourd'hui. Les chimistes mettent au point les céramiques qui commencent à remplacer les différents métaux utilisés dans les véhicules ce qui, en les allégeant accroît l'efficacité de nos systèmes de transport. La céramique est déjà employée dans les collecteurs d'échappement de certaines voitures de haute performance, et des expériences sont effectuées pour remplacer par de la céramique l'ensemble du bloc moteur. Le système de refroidissement des moteurs de voitures a été simplifié et son poids réduit car les moteurs actuels sont capables de supporter des températures élevées. Restent les problèmes de fabrication et de résistance à la traction, que vous seriez peut-être en mesure d'aider à résoudre. C'est aussi aux chimistes qu'il revient de mettre au point les semi-conducteurs dont dépendent les communications du monde moderne et l'informatique. De fait, l'une des principales tâches de la chimie consiste désormais à créer ce que l'on pourrait appeler l'infrastructure matérielle de l'univers numérique. Les chimistes développent les semi-conducteurs qui se trouvent au cœur de l'informatique et les fibres optiques qui remplacent de plus en plus souvent le cuivre dans la transmission des signaux. Les écrans qui servent d'interface avec le système visuel humain sont le fruit des recherches des chimistes sur les matériaux.

À l'heure actuelle les chimistes font des recherches sur l'ordinateur moléculaire, dont les commutateurs et les mémoires sont commandés par le changement de forme des molécules. La réussite de cette entreprise – avec l'optimisme qui caractérise si bien la science, nous sommes sûrs de son succès – ouvrira la voie à une croissance jamais égalée de sa puissance de calcul, dans un volume extrêmement réduit. Si la création de ce genre de matériaux intelligents vous intéresse, vous pouvez vous attendre à participer à une révolution de l'informatique. La création d'ordinateurs quantiques est également envisagée. Elle dépendra de la capacité des chimistes de mettre au point les nouveaux matériaux nécessaires et donnera lieu à une révolution de la communication et de l'informatique qui défie l'imagination.

Les tissus modernes sont directement tributaires des apports de la chimie. Supprimez-les et nous restons presque nus, tremblants de froid et peu séduisants. Même les teintures artisanales, comme celles qu'utilisent le batik javanais et l'impression indienne au tampon sont des produits chimiques extraits de végétaux et appliqués sur les tissus. Les tissus modernes comprennent les polyester, le nylon et les polyamides. Mais les apports de la chimie sont plus subtils que la simple création de tissus. Elle contribue à l'élaboration de retardateurs de flamme en intégrant au



© Richard Stampert/Stockphoto

Moine thaï avec son portable. Les chimistes collaborent avec les ingénieurs dans la mise au point des piles à combustible qui font fonctionner les ordinateurs portables.

tissu des composés en général bromés. Les dernières améliorations comprennent l'inclusion de nanomatériaux qui accroissent leur résistance à l'usure, offrent une résistance aux bactéries et suppriment le froissement. Nous sommes à la veille de découvertes encore plus passionnantes auxquelles vous pourriez participer : des e-textiles (ou textiles intelligents) sont à l'étude, qui intègrent des caractéristiques électroniques, la possibilité de changer de couleur, avec des motifs tournoyants, changeants (et des publicités !) selon votre humeur. Ces textiles pourront adapter leurs capacités thermiques aux conditions ambiantes et, espérons-le, s'auto-nettoyer.



Mannequin sur le podium d'un défilé de mode présentant des modèles d'Asie centrale. Les tissus modernes sont fortement tributaires de la chimie.

Les agents contre la maladie : les sociétés pharmaceutiques

Je n'ai presque pas parlé de la santé. L'une des grandes contributions de la chimie aux civilisations humaines – et, faut-il ajouter, au bien-être de nos troupes – a été la création des médicaments. Les chimistes peuvent à juste titre se vanter de leur contribution à la mise au point des agents de lutte contre les maladies. La plus importante est peut-être celle des anesthésiques au tournant des 19^{ème} et 20^{ème} siècles, qui ont réduit les souffrances. Imaginez que vous deviez subir une amputation, il y a deux cents ans, avec un peu d'eau-de-vie et en serrant les dents ! Parmi les anesthésiques courants aujourd'hui, comme la procaine, certains ont été mis au point par des chimistes afin d'éviter les effets secondaires tels que la dépendance, qui caractérisait l'usage de matières dérivées de

la médecine traditionnelle, comme la cocaïne tirée de la coca péruvienne. Vient ensuite, par ordre d'importance, la découverte des antibiotiques par les chimistes, due essentiellement à l'observation de la nature. Il y a un siècle, l'infection bactérienne constituait une menace mortelle ; on peut la soigner aujourd'hui. Il nous reste à espérer que cela continue, mais nous devons toutefois nous préparer à ce qu'il n'en soit pas toujours ainsi.

Certains milieux reprochent souvent aux sociétés pharmaceutiques des profits et une exploitation considérés comme extravagants, mais celles-ci méritent plus de compréhension. Elles agissent dans l'intérêt respectable de réduire la souffrance humaine en préparant des médicaments qui combattent la maladie. Les chimistes se trouvent au cœur de cette entreprise. Il est très regrettable que la mise au point de médicaments soit aussi coûteuse. Les techniques de l'électronique moderne contribuent à la recherche de nouveaux moyens d'action et de réduction du recours aux essais sur les animaux. Il faut toutefois prendre toutes les précautions avant d'introduire des éléments étrangers dans des corps vivants ; des années de recherches coûteuses peuvent soudain partir à la poubelle si, au dernier stade des essais se manifestent des conséquences inacceptables. Votre engagement dans cette industrie pourrait un jour la transformer dans un sens que nous ne pouvons pas prévoir et vous deviendriez l'un des fiers chimistes qui auront contribué à sauver des millions de vies.

Comment la biologie est devenue chimie il y a 50 ans

La contribution des chimistes au soulagement de la maladie n'en est pas moins étroitement liée à leur implication dans les recherches au niveau moléculaire. La biologie est devenue chimie il y a exactement 50 ans, avec la découverte de la structure en double hélice de l'ADN. La biologie moléculaire, qui doit son existence dans une grande mesure à cette découverte, n'est rien d'autre que la chimie appliquée aux organismes vivants. Souvent déguisés en spécialistes de chimie moléculaire, les chimistes ont montré la voie à la compréhension de la vie et de sa caractéristique essentielle, la transmission des caractères génétiques, au niveau le plus fondamental, en ouvrant ainsi de vastes domaines de l'univers moléculaire à l'investigation rationnelle. Ils ont aussi transformé la médecine légale, traduit en justice les criminels et transformé l'anthropologie en remontant le cours de l'histoire ethnique et de l'ascendance.

Le déplacement de l'attention de la chimie vers les processus du vivant s'est produit à une époque où les domaines traditionnels de la chimie – organique, inorganique et

physique – ont atteint un degré élevé de maturité et sont prêts à s'attaquer au réseau horriblement complexe des processus internes des organismes, notamment humains. La façon d'aborder la maladie – et surtout de la prévenir – a été placée sur une base rationnelle par les découvertes que les chimistes continuent à faire. Si vous envisagez de mettre pied dans ce domaine, l'importance de la génomique (étude du génome d'un organisme) et de la protéomique (étude de la panoplie des protéines synthétisées par le génome) se révélera essentielle pour vos travaux car elle aide à placer sur une base rationnelle le traitement de la maladie et à la mettre en relation personnelle avec l'individu. C'est véritablement un domaine de la chimie sur lequel vous pouvez vous appuyer en toute confiance sur les épaules des géants qui vous ont précédé en sachant que vous attaquez la maladie à la racine.

Les magiciens de la matière

Je me suis limité à un petit nombre de réussites de la chimie appliquée, car elles représentent le résultat tangible des travaux réalisés depuis des siècles par des myriades de chimistes et, je le dis avec quelques précautions, par des alchimistes. S'il est vrai que les alchimistes ont fait fausse route en voulant transmuter en or les vils métaux, ils se sont néanmoins familiarisés par leurs expériences avec la matière et les transformations auxquelles on peut la soumettre.



Ce malade du 19^{ème} siècle s'est vu administrer de l'oxyde nitreux (N₂O) avant l'extraction d'une dent. Également connu sous le nom de gaz hilarant, l'oxyde nitreux a été identifié en 1772 comme anesthésique par le chimiste anglais Joseph Priestly.



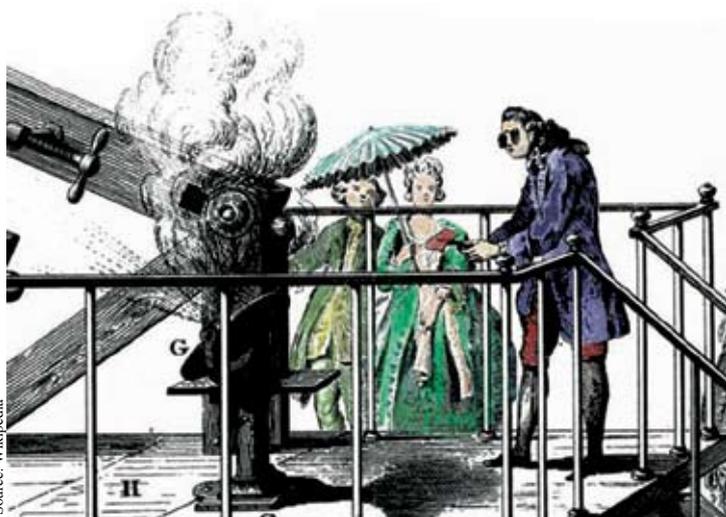
Mohamed Ibn Zakariya ar-Razi (865-925) était un Persan, alchimiste, chimiste, médecin et philosophe. On lui attribue de nombreuses « premières » comme celle d'avoir écrit un ouvrage de pédiatrie. Il fut aussi le premier à découvrir l'acide sulfurique – après avoir perfectionné les méthodes de sa distillation et de son extraction – ainsi que de nombreux autres produits et composés chimiques, comme le kérosène, l'alcool et l'éthanol.

Il existe cependant un autre aspect de la chimie qui ne devrait pas passer inaperçu et qui la justifie aux yeux de beaucoup de monde. La chimie explore la matière et le fonctionnement du monde matériel. C'est donc une entreprise profondément culturelle : il est tout à fait normal, étant donné l'intérêt que l'UNESCO manifeste pour l'Année internationale de la chimie, de constater que celle-ci appartient à la fois au domaine éducatif, scientifique et culturel. La chimie nous initie aux propriétés et au comportement de la matière. C'est en outre une activité véritablement transnationale et transculturelle, qui progresse grâce la collaboration de presque tous les pays du monde.

Des chimistes tels que l'Anglais John Dalton (1766-1844) ont attiré notre attention sur l'existence des atomes et des molécules, et leurs descendants nous ont montré comment établir un lien entre ces entités et ce que nous observons. Alors que nous pouvons prendre plaisir à simplement regarder la couleur éclatante d'une fleur, la chimie nous permet de percevoir l'origine moléculaire de la couleur et ainsi d'approfondir notre délectation.

Les premiers chimistes ont commencé par comprendre pourquoi une substance réagissait avec telle substance précise et pas avec une autre. Leurs descendants ont découvert le moteur du changement chimique et ont ainsi ouvert notre compréhension du pourquoi tel ou tel événement se passe. Nous comprenons ce qui pousse le monde à aller de l'avant, pourquoi les récoltes mûrissent, pourquoi nous vivons et mourons et pourquoi les choses se produisent ainsi.

Il reste, évidemment beaucoup à faire. Même si les principes fondamentaux de la chimie sont désormais bien établis, leur application reste aussi difficile et ardemment étudiée



Antoine Lavoisier (1743-1794) essaie un moteur à combustion qui concentre la lumière du soleil sur du matériel inflammable. Ce chimiste français a établi que l'eau se composait d'oxygène et d'hydrogène, et que l'air était principalement un mélange d'azote et d'oxygène. Il a été guillotiné au plus fort de la Révolution française.



Le professeur Tebello Nyokong dans son laboratoire du département de chimie de l'Université Rhodes, en Afrique du Sud. L'une des cinq lauréates du prix L'OREAL-UNESCO en 2009, elle doit son prix à ses recherches sur les composés chimiques appelés colorants de phthalocyanine. Ils pourraient être utilisés pour attaquer les tissus cancéreux selon un procédé moins intrusif que la chimiothérapie. Stimulés par exposition à un faisceau laser rouge, ces colorants servent à cibler de manière sélective les tissus cancéreux. Elle est entourée de l'étudiant Wu Xi, venu de Chine à titre d'échange, et de Taofeek Ogunbayo, un doctorant sud-africain.

que jamais. La chimie nous laisse sonder les profondeurs de la matière, et permet aux chimistes de monter de subtils agencements d'atomes qui pourraient bien n'exister nulle part ailleurs dans l'Univers, dotés de propriétés finement ajustées à une application jusqu'ici imprévue. Si vous êtes chimiste ou avez l'intention de le devenir, vous deviendrez un magicien de la matière, capable de faire apparaître des formes attendues ou inattendues de ce qui nous entoure. Mais vous ne serez pas un vrai magicien : vous serez un manipulateur rationnel, intelligent, un architecte à l'échelle des molécules.

L'Année internationale de la chimie est, à juste titre, la célébration de la transformation du monde et de la vie de ses habitants. Elle célèbre à juste titre les réussites actuelles, les effets de la chimie sur la population du monde entier et ses progrès dus à la collaboration mondiale. Elle anticipe également, à juste titre, ses contributions éventuelles au nouveau monde imprévu qui adviendra.

Peter Atkins²

1. Tout élément possède un nombre donné de protons. Les isotopes d'un élément partagent le même nombre de protons, mais leur nombre de neutrons change : le carbone 12, le carbone 13 et le carbone 14, par exemple sont trois isotopes du carbone. Le numéro atomique de l'élément reste toujours le même : dans le cas du carbone, c'est six, car chaque atome de carbone a six protons.
2. Université d'Oxford, Royaume-Uni

La pénurie d'ingénieurs menacerait le développement

Plus que jamais, le monde a besoin de solutions innovantes en matière d'ingénierie pour affronter les grands défis, de la pauvreté au changement climatique. Or, de nombreux pays constatent une baisse du nombre de jeunes, de femmes en particulier, dans les écoles d'ingénieurs. Cette baisse des effectifs menace d'affecter les capacités futures en matière d'ingénierie, notamment dans les pays en développement où la fuite des cerveaux constitue un problème supplémentaire, selon le premier rapport international de l'UNESCO sur le sujet.

Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development illustre le besoin croissant de compétences dans le domaine de l'ingénierie. On estime ainsi qu'environ 2,5 millions de nouveaux ingénieurs et techniciens seront nécessaires pour la seule Afrique subsaharienne si la région entend atteindre l'Objectif du millénaire pour le développement relatif à un meilleur accès à l'eau potable et à l'assainissement. En même temps, les experts prévoient que le marché mondial lié à la recherche de solutions pour faire face au changement climatique – tels que des produits à basse teneur en carbone ou les systèmes d'énergie renouvelable – atteindra rapidement 1 000 milliards de dollars et qu'il continuera de croître.

Le manque d'ingénieurs est patent dans de nombreux pays. L'Allemagne enregistre ainsi une pénurie sérieuse d'ingénieurs dans la plupart des secteurs. Au Danemark, une étude montre que d'ici 2020, 14 000 ingénieurs feront défaut. Et bien qu'en chiffres absolus le nombre d'étudiants ingénieurs augmente dans le monde, leur pourcentage est en baisse par rapport aux autres disciplines. Au Japon, aux Pays-Bas, en Norvège et en République de Corée par exemple, une baisse de 5 à 10 % des inscriptions a été enregistrée depuis la fin des années 1990.

Les efforts visant à accroître la participation des femmes dans de nombreux pays a permis d'augmenter leur nombre qui, de 10 à 15% au départ, est passé à 20% voire plus, même si on constate un recul depuis 2000. Dans certains pays, le pourcentage de femmes ingénieurs est inférieur à 10% et elles sont quasi absentes dans certains pays. Une étude récente menée pendant deux ans au Royaume-Uni montre la persistance de préjugés identifiant l'ingénierie comme une discipline strictement technique et masculine.

Le rapport formule des propositions pour stimuler l'intérêt pour l'ingénierie, notamment par l'adoption de méthodes d'apprentissage plus concrètes, démontrant ainsi que l'ingénierie permet, par sa nature même, de résoudre les problèmes posés.

Le rapport souligne aussi l'urgente nécessité de disposer de meilleures statistiques et d'indicateurs pertinents. Ainsi, il n'est actuellement pas possible de comparer le nombre d'ingénieurs ou leur spécialité par personne dans le monde car les données actuelles au niveau international ne différencient pas les ingénieurs des scientifiques. Des indicateurs plus précis permettraient d'améliorer l'information disponible pour les décideurs et les planificateurs.

De manière générale, le rapport souligne la nécessité d'une meilleure compréhension, chez les décideurs et parmi le public, des questions d'ingénierie et de la manière dont elles orientent le développement. C'est particulièrement important dans le

contexte de la récession mondiale ; le rapport souligne l'importance d'investir dans les infrastructures et l'innovation durant les périodes de ralentissement économique.

Pour en savoir plus, voir page 24.

Stations sismiques pour le Népal

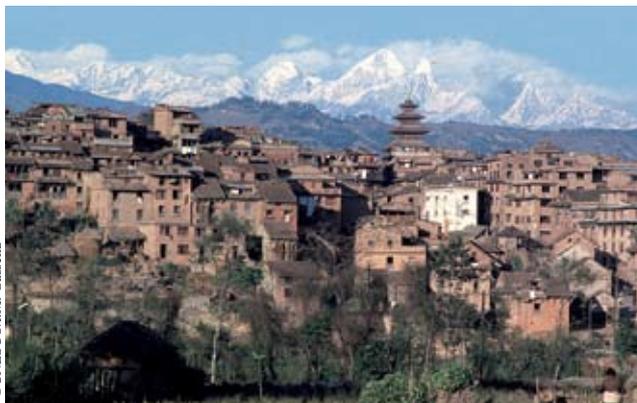
L'UNESCO prévoit d'installer un réseau de stations de surveillance multiparamétriques des tremblements de terre dans la vallée de Katmandou et de ses alentours afin d'améliorer les capacités de prévision des séismes.

Dès leur mise en service, les stations étudieront les variations de la concentration de certains gaz dans le sol, tels que le radon (Rn), l'hélium (He), le dioxyde de carbone (CO₂), l'azote (N₂) et le méthane (CH₄), qui révèlent un renforcement de l'activité géologique. Les stations vont en outre surveiller avec des piézomètres les variations de la pression de l'eau dans les nappes phréatiques et effectuer des études électromagnétiques et géomagnétiques afin de déceler des signaux de stress souterrain. Les données statistiques recueillies seront analysées et les anomalies calculées afin de déterminer la date probable du prochain tremblement de terre.

Le Népal a un long passé de séismes destructeurs. En 1934, l'un d'eux a détruit 20 % des bâtiments de la vallée de Katmandou et un quart de ceux de la capitale. S'il se produisait aujourd'hui un grand séisme dans la vallée ou dans ses parages il provoquerait des dommages bien plus sévères que par le passé. Avec sa population de près d'1,5 million d'habitants, la vallée devient chaque année de plus en plus vulnérable aux tremblements de terre. Celui de 1934 est loin d'avoir été un événement isolé. L'histoire de la sismicité de la région, qui remonte à 1255, suggère qu'un séisme de la magnitude de celui de 1934 se produit environ tous les 75 ans. Le Népal serait donc « promis » à un grand tremblement de terre dans un avenir proche.

Selon une étude d'évaluation des pertes publiée conjointement par la National Society for Earthquake Technology et GeoHazards International, le prochain grand tremblement de terre qui affectera la vallée de Katmandou pourrait entraîner des dizaines de milliers de morts. Les dommages aux habitations, aux commerces, aux bâtiments publics, aux services et réseaux de transport s'élèveraient à des millions de dollars.

Le Népal doit cette vulnérabilité au fait que le déplacement de la plaque tectonique indienne vers le nord suit une trajectoire à



Vue de Badghaon dans la vallée de Katmandou

peu près perpendiculaire à la ceinture de collision de l'Himalaya. Les études effectuées depuis 40 ans montrent que ce mouvement exerce un stress de compression sur certaines failles transversales de la région, ce qui accroît le risque de séisme.

Les étapes préparatoires du projet sont dirigées conjointement par les bureaux de l'UNESCO à Katmandou et New Delhi, en étroite association avec les autorités compétentes du Népal et de l'Inde.

Pour en savoir plus : b.neupane@unesco.org; www.nset.org.np/

La meilleure arme contre le cancer : une vie saine

Il y a quelques années, vous auriez souri à l'idée qu'un régime alimentaire et l'activité physique pouvaient aider à prévenir le cancer. Cependant, les experts s'adressant, le 9 novembre, à une salle comble à l'occasion du forum scientifique de l'UNESCO sur les Progrès de la prévention du cancer et de ses rechutes n'ont pas laissé de place au doute : de nombreuses études épidémiologiques internationales affirment que le mode de vie peut effectivement influencer l'évolution d'un cancer et contribuer à prévenir les rechutes.

Ce forum était organisé au siège de l'UNESCO, à Paris, en collaboration avec l'hebdomadaire *Paris Match*, qui publie une rubrique sur la santé. Depuis sept ans, ce forum diffuse auprès du grand public des informations sur les progrès de la recherche et les innovations thérapeutiques.

Le régime alimentaire a été corrélé avec les cancers communs du tube digestif, du sein, de la prostate et du poumon, soit 30 % de tous les cancers, selon le Pr David Khayat. En citant une étude canadienne récente montrant que 15 % des fruits et des légumes sur le marché contenaient des résidus de pesticides, il recommande de donner la préférence à l'agriculture biologique. Il faut prévenir l'obésité chez les jeunes pour éviter les risques de cancer du sein ou du colon, dit-il. Il conseille de ne pas cuisiner sur le gril ni dans un wok, qui produisent des agents cancérigènes. Il recommande également de consommer avec modération certaines espèces de poissons, comme le thon rouge et le saumon, qui peuvent contenir des métaux lourds cancérigènes.

Même les suppléments vitaminés peuvent être dangereux. Chez les hommes de plus de 50 ans, un complément en vitamine E accroît le risque de cancer de la prostate. Quant au supplément en vitamine A, il augmente le risque de cancer du poumon chez les fumeurs.

Le tabac est responsable de 80 % de tous les cancers du poumon et peut provoquer le cancer de la gorge et de la vésicule biliaire. Fait notable, la durée compte plus que la

quantité : une personne qui fume 10 cigarettes par jour pendant 20 ans risque davantage d'avoir un cancer du poumon que celle qui en fume 20 par jour pendant 10 ans.

Selon votre sexe, une consommation excessive de laitage peut être bénéfique ou nocive : chez l'homme de plus de 50 ans, la consommation de plus de 2 g de calcium par jour accroît ses risques de cancer de la prostate, tandis que chez une femme du même âge, elle réduit les risques de cancer du colon.

L'un des autres facteurs de risques est le manque d'activité physique. Une étude menée en France pendant douze années sur 90 509 femmes de 30 à 60 ans en bonne santé a montré que celles qui faisaient au moins cinq heures par semaine d'activité physique réduisaient de 25 % leurs risques de cancer du sein. En 2010, la revue *Breast Cancer Research and Treatment* a montré que les femmes ayant une prédisposition au cancer due au diabète, à l'obésité, ou à l'histoire familiale pouvaient réduire de 40 % le risque de cancer du sein si elles faisaient cinq heures d'activité physique par semaine. Cette tendance a été vérifiée pour un large éventail de cancers, à l'exception de ceux qui sont provoqués par le tabac.

L'exposition solaire prolongée peut induire un cancer de la peau, même le bronzage artificiel délivré par les lampes à UV des salons de beauté. Certaines personnes sont cependant plus prédisposées que d'autres au cancer de la peau. Il existe des cas rares de disposition génétique, mais les plus grands facteurs de risques sont simplement les yeux bleus, les cheveux roux et la peau très pâle. L'unique moyen de prévention est de réduire votre exposition au soleil.

Les virus et agents infectieux sont les facteurs de risque les plus sournois : ils ont pu se trouver dans votre corps depuis dix ans en restant inaperçus. C'est actuellement le cas pour 10 à 15 % des cancers. La vaccination peut vous protéger de certains virus, comme l'hépatite B et, chez les adolescentes, du papillomavirus responsable du cancer du col de l'utérus.

« Pour de nombreux cancers, le pronostic s'est considérablement amélioré ces dernières années », indique le Pr Dominique Maraninchi, Président de l'Institut national français de lutte

contre le cancer. « Quelque 85 % des cancers du sein, 90 % des cancers de la prostate et plus de 80 % de ceux du colon et du rectum peuvent désormais être guéris à condition d'être pris à temps », dit-il. En outre, grâce à l'avènement de la « médecine intelligente », nous disposons aujourd'hui de produits qui attaquent uniquement les cellules malignes, à la différence de la chimiothérapie.

Pour visionner le forum :

www.longevitiv.com ;

pour en savoir plus : [Sabine de Labrosse : paris-match.lecteurs@lagardere-active.com](mailto:Sabine.de.Labrosse@parismatch.lecteurs@lagardere-active.com) ; r.clair@unesco.org



Une fumeuse au Timor-Oriental

© UNESCO/Katy Anis

Des experts plaident pour la recherche en géo-ingénierie

Le 12 novembre, une réunion internationale d'experts a recommandé de mettre en place un programme international de recherches en géo-ingénierie sur le modèle du Programme mondial de recherche sur le climat, patronné par le Conseil international pour la science, l'OMM et la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'UNESCO.

La géo-ingénierie est l'altération intentionnelle du système climatique à grande échelle. Ce domaine controversé de la recherche a fait les gros titres de la presse pour certaines de ses suggestions les plus farfelues. Un projet, par exemple, proposait d'installer un parasol géant qui tournerait en orbite autour de la planète pour la rafraîchir. Plus terre à terre, il existe des plans d'injection de CO₂ dans les profondeurs du sol ou de l'océan, afin d'y piéger de grandes quantités de ce gaz pour de longues périodes. L'océan est une destination tentante car il absorbe déjà environ un tiers du CO₂ atmosphérique ; plusieurs expériences controversées ont « fertilisé » des zones de l'océan en fer afin de stimuler la croissance du plancton en surface.

Géo-ingénierie, la voie à suivre ? tel était le thème de la réunion organisée en novembre par l'UNESCO en son siège, à Paris. Elle visait à capitaliser sur le rôle de « médiateur neutre » de l'UNESCO pour créer un forum de discussion internationale et faire prendre conscience du potentiel scientifique et de gouvernance de ce domaine en plein développement. Les experts invités comprenaient 20 participants originaires d'une douzaine de pays et de diverses institutions scientifiques, à but non lucratif, gouvernementales et non gouvernementales.

Un programme de recherches pourrait, selon le sentiment général, relever les défis technologiques et scientifiques de la géo-ingénierie et permettre d'aller de l'avant dans les travaux scientifiques légitimes de ce domaine controversé. Cette initiative fait suite à la déclaration formulée par le secrétariat de la Convention sur la diversité biologique au cours de sa réunion d'octobre à Nagoya (voir page 13) reconnaissant que les expériences de recherche en géo-ingénierie actuellement menées à petite échelle devraient être autorisées dans la mesure où elles se soumettraient à certains contrôles.

Organisée conjointement par la COI, le Programme international de géosciences et la Division des sciences fondamentales et de l'ingénierie, la réunion de l'UNESCO a considéré que la géo-ingénierie tombait dans deux grandes catégories :

- ✓ La **géo-ingénierie solaire**, dont les interventions s'efforcent de réduire le rayonnement solaire absorbé par le système climatique de la Terre, telles que l'injection de particules réfléchissantes, comme le dioxyde de soufre, dans les couches basses ou élevées de l'atmosphère, pour aboutir à une réduction de la température mondiale moyenne, et
- ✓ La **géo-ingénierie du carbone**, qui s'efforce de débarrasser activement l'atmosphère de son CO₂ en inventant des instruments de nettoyage, ou bien de renforcer les processus de l'écosystème, de façon à réduire l'effet nocif de l'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Pour consulter les actes :

www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences

Les nappes souterraines pour atténuer la pénurie d'eau en Irak

L'UNESCO a lancé, le 3 octobre, un inventaire des nappes souterraines de l'Irak afin de soutenir les efforts du gouvernement pour remédier à la pénurie d'eau du pays. La plupart des régions souffrent actuellement de pénurie : 7,6 millions d'Irakiens n'ont pas accès à une eau potable de qualité acceptable tandis que l'agriculture connaît la sécheresse depuis des années.

Actuellement, il manque un inventaire complet des ressources en eaux souterraines du pays. L'étude lancée par l'UNESCO fournira aux autorités nationales et locales les moyens de localiser avec précision et de gérer durablement cette précieuse ressource.

Prenant en compte les priorités fixées par le gouvernement de l'Irak pour le secteur de l'eau, le projet sera mis en œuvre en deux temps. La première phase, financée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds d'affectation pour l'Irak du groupe des Nations unies pour le développement, verra la mise en place d'une base interactive de données exploitant les données hydrogéologiques déjà existantes de l'Irak ainsi que d'une équipe d'experts gouvernementaux formés pour gérer cette base de données. Les données et les analyses recueillies dans cette première phase seront intégrées à une enquête nationale sur les ressources hydrogéologiques de l'Irak. La deuxième étape, prévue pour 2011, localisera les nappes jusqu'à une profondeur de 3 000 mètres et étudiera la composition des sols et la reconstitution des nappes, tout en réservant la priorité aux zones de développement de l'agriculture.

Une fois le projet mené à bien, le gouvernement de l'Irak disposera d'une masse de nouvelles données sur l'état des eaux souterraines du pays et pourra agir rapidement pour mettre fin à la pénurie d'eau dans les régions les plus affectées. Le projet permettra également d'améliorer la planification de nouveaux projets agricoles et la gestion durable des nappes phréatiques irakiennes. En outre, le projet permettra à tous les ingénieurs hydrauliciens du pays de partager les uns avec les autres les informations sur ces ressources, de façon rapide et efficace.

Pour en savoir plus : c.walther@unesco.org ; www.unesco.org/en/iraq-office

Dix médailles en nanosciences et nanotechnologies

Le 2 novembre, la Directrice générale de l'UNESCO, Irina Bokova, a remis la Médaille de l'UNESCO pour leur contribution au développement des nanosciences et nanotechnologies à l'académicien russe **Zhores Alferov**, prix Nobel de physique en 2000, et au Pr **Chunli Bai**, Vice-président exécutif de l'Académie des sciences chinoise. Au cours d'une deuxième cérémonie, Mme Bokova a remis, le 18 novembre, huit autres médailles à :

- ✓ La **Fondation intergouvernementale pour la coopération dans l'éducation, la science et la culture** de la Communauté d'États indépendants (CEI), représentée par M. A. Smbatian, Directeur exécutif ;

- ✓ **la Compagnie pétrolière nationale** de la République d'Azerbaïdjan, représentée par Eldar Shakhbazov ;
- ✓ **Valery Chereshev**, de l'Académie des sciences de Russie ;
- ✓ **Yuri Guliayev**, Membre du Présidium de l'Académie des sciences de Russie ;
- ✓ **Alexander Sigov**, Recteur de l'Institut de Moscou pour l'électronique et l'automatisation ;
- ✓ **Vladislav Panchenko**, Président de la Fondation russe pour la recherche fondamentale ;
- ✓ **Alexander Khavkin** de l'Institut du pétrole et du gaz de l'Académie des sciences de Russie ;
- ✓ **Viktor Alexandrovich Bykov**, Président de la Société russe de nanotechnologie.

Cette Médaille de l'UNESCO a été créée en 2010 par la commission internationale chargée de développer le thème des nanosciences et des nanotechnologies pour l'Encyclopédie sur le développement durable (EOLSS) publiée par l'UNESCO et les Éditions EOLSS. Le volume dédié aux nanosciences et nanotechnologies a été publié en russe en 2010 (voir page 24).

Pour en savoir plus : www.eolss.net; unesco-eolss@unesco.org

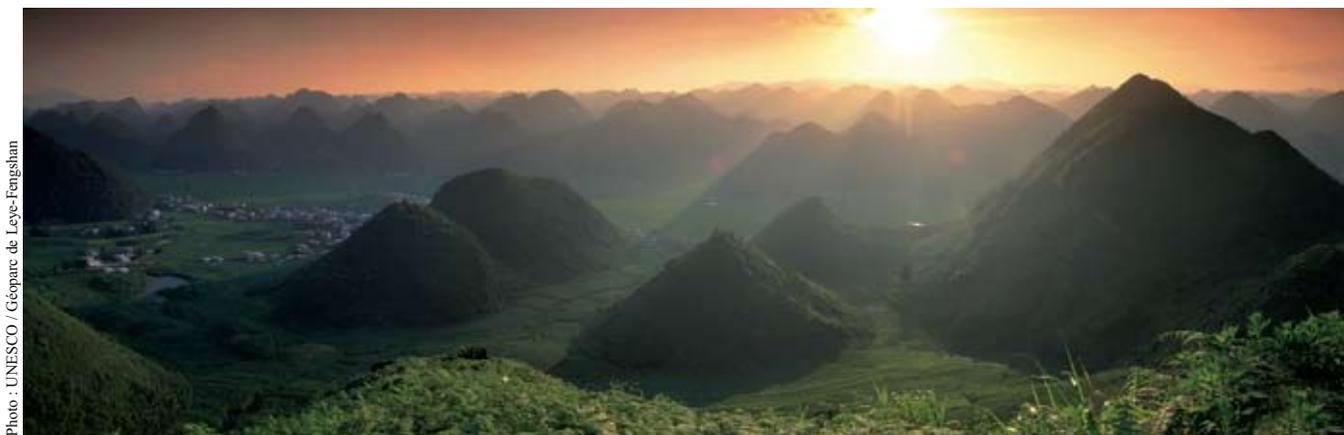
Onze sites rejoignent le Réseau mondial des géoparcs

Réuni dans le cadre de la 9^{ème} conférence européenne des géoparcs, sur l'île de Lesbos (Grèce) du 1^{er} au 5 octobre, le Bureau du Réseau mondial des géoparcs a admis 11 nouveaux membres de neuf pays. Créé en 2004 sous l'égide de l'UNESCO, le réseau compte désormais 77 géoparcs répartis dans 24 pays.

- ✓ Situé dans le nord-ouest de l'Espagne, près de la frontière française, le premier des nouveaux géoparcs, celui de **Gipuzkoa Euskadi/Pais Vasco** sur la côte cantabrique, est bordé par un paysage de montagnes atteignant les 1 000 m. Ce géoparc est riche d'une longue histoire culturelle dont témoignent notamment les peintures rupestres, tentatives de communiquer avec le monde spirituel (artefacts chamaniste) et la magnifique église gothique Santa Maria la Real située à Deba ;
- ✓ Situé à l'extrémité nord du Viet Nam, le géoparc du **Plateau karstique Dong Van** dans la province de Ha Giang présente un

paysage de calcaire karstique et une grande diversité géologique qui se combinent avec un riche patrimoine culturel. Situé dans une région isolée et défavorisée, ce site est appelé à jouer un rôle important pour le développement durable du pays ;

- ✓ Située à environ 100 km au sud de la péninsule, **l'île de Jeju, en République de Corée**, est une île volcanique dont l'économie prospère repose largement sur le tourisme et notamment sur plusieurs sites géologiques de dimension internationale bien préservés ;
- ✓ Situé au sud-ouest de la Chine, le **géoparc Leye-Fengshan**, dans la région autonome de Guangxi Zhuang, se caractérise par plusieurs éléments karstiques : grandes rivières souterraines, fenêtres karstiques, ponts naturels, longs réseaux de grottes, etc. Les éléments les plus représentatifs de ce paysage sont les Tiankengs, larges dépressions aux parois quasiment verticales, dont la profondeur et le diamètre moyens atteignent généralement plus de 100 m ;
- ✓ Situé également en Chine, le **géoparc de Ningde** dans le Fujian illustre l'interaction roche-eau sous forme de gigantesques roches érodées et d'impressionnants paysages ;
- ✓ Situé dans les Apennins, le **géoparc de Cilento et du Vallo Diano**, en Campanie, (Italie), présente des paysages variés de montagne, de grottes et de côtes qui reflètent sa riche diversité géologique ;
- ✓ Proche du Cercle arctique, le **géoparc de Rokua**, en Ostrobotnie du Nord et Kainuu (Finlande) est le géoparc le plus septentrional du réseau. Il se caractérise par des paysages modelés par l'âge glaciaire : crêtes glaciaires, landes recouvertes de pins et de lichens, marmites de géant et petits lacs d'eau claire. Outre ces paysages, la région illustre l'histoire de l'installation de l'homme sur ce site à la préhistoire ;
- ✓ Niché au cœur d'un parc national de l'île de Honshu, le **géoparc San'in Kaigan**, au Japon, est un exemple réussi d'intégration du patrimoine géologique au développement local. Ses paysages côtiers d'une grande beauté (dunes de sable, plages, stations de sources chaudes, ressources marines) ont permis de créer une industrie touristique florissante ;
- ✓ Situé sur la côte est du Canada, le **géoparc Stonehammer** du Nouveau-Brunswick est le berceau de la recherche géologique du pays. La géologie fait également partie intégrante du quotidien des habitants de la région, grâce à la participation de la communauté et aux programmes de coopération qui soutiennent de nombreux projets de loisirs et de tourisme ;



Leye-Fengshan, région autonome de Guangxi Zhuang en République populaire de Chine



Organisation des Nations
Unies pour l'éducation,
la science et la culture



Union internationale
de chimie pure
et appliquée

Partenaires pour l'Année internationale de la chimie 2011



Année internationale de la
CHIMIE
2011

Tableau périodique des éléments



www.iupac.org/reports/periodic_table/

www.chemistry2011.org





Année internationale de la
CHIMIE
2011

Tableau périodique des éléments

								18 2 He hélium 4,003
			13	14	15	16	17	
			5 B bore 10,81	6 C carbone 12,01	7 N azote 14,01	8 O oxygène 16,00	9 F fluor 19,00	10 Ne néon 20,18
			13 Al aluminium 26,98	14 Si silicium 28,09	15 P phosphore 30,97	16 S soufre 32,07	17 Cl chlore 35,45	18 Ar argon 39,95
10	11	12						
28 Ni nickel 58,69	29 Cu cuivre 63,55	30 Zn zinc 65,38(2)	31 Ga gallium 69,72	32 Ge germanium 72,64	33 As arsenic 74,92	34 Se sélénium 78,96(3)	35 Br brome 79,90	36 Kr krypton 83,80
46 Pd palladium 106,4	47 Ag argent 107,9	48 Cd cadmium 112,4	49 In indium 114,8	50 Sn étain 118,7	51 Sb antimoine 121,8	52 Te tellure 127,6	53 I iode 126,9	54 Xe xénon 131,3
78 Pt platine 195,1	79 Au or 197,0	80 Hg mercure 200,6	81 Tl thallium 204,4	82 Pb plomb 207,2	83 Bi bismuth 209,0	84 Po polonium	85 At astate	86 Rn radon
110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium						

64 Gd gadolinium 157,3	65 Tb terbium 158,9	66 Dy dysprosium 162,5	67 Ho holmium 164,9	68 Er erbium 167,3	69 Tm thulium 168,9	70 Yb ytterbium 173,1	71 Lu lutetium 175,0
--	-------------------------------------	--	-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------

96 Cm curium	97 Bk berkélium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendélévium	102 No nobélium	103 Lr lawrencium
---------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	---------------------------------	------------------------------	--------------------------------

- ✓ Le **Parc minier toscan** est au cœur de la plus importante région minière du centre de l'Italie, les Monts métallifères. Épousant des paysages côtiers et montagneux, il occupe une position stratégique entre les principaux sites culturels et artistiques de Toscane et plusieurs stations balnéaires très touristiques;
- ✓ Le **géoparc de Vikos-Aoos**, d'Ioannina, en Grèce, s'étend sur un paysage de montagne panoramique préservé, comprenant les gorges les plus impressionnantes du nord-ouest de la Grèce, Vikos et Aoos. Le consortium chargé de la gestion du géoparc entretient une industrie touristique durable qui intègre notamment les habitants des villages locaux.

Pour en savoir plus : m.patzak@unesco.org

De nombreux pays adoptent le **Traité de Nagoya** sur la biodiversité

C'est avec une immense satisfaction que les délégués de 193 pays ont voté, le 30 octobre, l'adoption du Traité de Nagoya sur la biodiversité. Cet accord-cadre d'importance historique comporte un *Plan stratégique pour la biodiversité* couvrant la période 2011–2020, un protocole sur l'accès aux avantages tirés de son utilisation et à leur répartition, et l'engagement de mobiliser les ressources financières nécessaires à la mise en œuvre du pacte.

Réunis à Nagoya (Japon) du 18 au 30 octobre, les États parties à la Convention sur la diversité biologique (CDB) sont convenus de réduire de moitié la perte des habitats naturels, de porter d'ici 2020 de 12 à 17 % la superficie mondiale des réserves terrestres et de 1 à 10 % celle des réserves marines et côtières. Ils se sont également engagés à réhabiliter au moins 15 % des zones dégradées et à s'efforcer tout particulièrement de réduire la pression qui s'exerce sur les récifs coralliens.

Décrié par le Secrétaire exécutif de la CDB, Ahmed Djoghlaif, comme l'un des instruments juridiques les plus importants de l'histoire de la protection de l'environnement, le Protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage équitable des avantages découlant de l'utilisation de la biodiversité fixe les règles fondamentales de la coopération entre nations en matière de ressources génétiques. « Le protocole nous permettra désormais de mettre en œuvre la totalité de la convention » a déclaré Djoghlaif, en ajoutant que le protocole jetait les bases d'un nouvel ordre économique et écologique international fondé sur le respect de la nature dans sa diversité, y compris les êtres humains. Le protocole précise comment les avantages – réalisés, par exemple, en exploitant les qualités génétiques d'un végétal pour en faire un produit pharmaceutique, ou tout autre produit du commerce – seront partagés avec les pays et les communautés qui ont préservé et géré cette ressource, parfois pendant des millénaires. Il stipule également comment seront gérés les substances et les composés dérivés des ressources génétiques et il éclaire certaines questions liées aux agents pathogènes, par exemple comment les pays développés pourraient se procurer un virus de la grippe pour mettre au point un vaccin qui jugulerait une épidémie imminente.

Le protocole devrait entrer en vigueur d'ici 2012, grâce à une subvention d'1 million de dollars du Fonds mondial pour l'environnement.

En signant le Pacte de Nagoya pour la biodiversité, les pays ont aussi entériné un plan de mobilisation de ressources prévoyant de relever le niveau actuel d'assistance au développement à des fins de la préservation de la biodiversité. En outre, le Premier ministre japonais Naoto Kan a annoncé une subvention de 2 milliards de dollars destinée à aider à la mise en œuvre des résultats obtenus à Nagoya, et son ministre de l'Environnement la création d'un Fonds japonais pour la biodiversité.

La communauté des donateurs a également apporté son soutien aux préoccupations sur la biodiversité. Les représentants de 34 agences bilatérales ou multilatérales sont convenus d'intégrer le plan dans leurs priorités en matière de coopération pour le développement.

En même temps, la réunion s'est félicitée du *Plan d'action pluriannuel pour la coopération Sud-Sud sur la biodiversité pour le développement*, conçu à l'initiative des 131 membres du Groupe des 77 et de la Chine.



© UNESCO/Jacob Ashier – NOAA

Chaque année, environ 52 tonnes de filets dérivants sont repêchés dans les eaux de Papahānaumokuākea, vaste parc marin des États-Unis, nommé réserve de biosphère l'année dernière.

Par ailleurs, la réunion de Nagoya a donné son feu vert à l'établissement par l'Assemblée générale des Nations unies d'une Plate-forme intergouvernementale de politique scientifique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES). Et ce, quelques semaines avant que l'Assemblée générale des Nations unies ne l'approuve formellement, le 20 décembre. La prochaine étape sera l'organisation de la première réunion plénière de l'IPBES, d'ici au mois de juillet, par l'UNESCO, le Secrétariat de la CDB, la FAO et le PNUD. C'est pendant cette réunion que seront définies les modalités de fonctionnement de l'IPBES et le lieu où sera hébergé son secrétariat.

À Nagoya, les gouvernements ont adopté plusieurs décisions d'une grande importance pour le programme l'Homme et la biosphère de l'UNESCO et son Réseau mondial de réserves de biosphère. À titre d'exemple, le programme commun à l'UNESCO et au secrétariat de la CDB, élaboré en juin dernier par la Conférence internationale sur la diversité biologique et culturelle, a été reconnu comme « un mécanisme très utile de coordination pour stimuler la mise en œuvre de la Convention et approfondir,

à l'échelle mondiale, la compréhension des liens qui unissent diversité culturelle et biologique ». Les États parties et autres entités concernées ont été invités à « participer et apporter leur concours à la mise en œuvre de ce programme commun ».

La prochaine réunion de la Conférence des parties à la CDB aura lieu en Inde en 2012.

www.cbd.int ; www.unesco.org/fr/biodiversity ; pour IPBES, voir Planète science, juillet 2010

Des experts demandent une évaluation des **micro-plastiques** dans l'océan

Les experts réunis en atelier ont recommandé qu'une évaluation mondiale soit faite des micro-plastiques qui jonchent les océans afin d'éclairer les décideurs sur les moyens de les maîtriser. Alors même qu'il prend des proportions de plus en plus grandes, ce problème est mal compris.

Cette évaluation pluridisciplinaire serait dirigée par le Groupe mixte d'experts chargé d'étudier les aspects scientifiques de la protection de l'environnement marin (GESAMP)³, en collaboration avec les agences techniques des Nations unies chargées de la gouvernance de l'océan, les autorités régionales et nationales, les OIG et les ONG. Dans l'idéal, l'étude serait effectuée en 2013, à temps pour le premier round du Processus régulier des Assemblées générales des Nations unies pour l'évaluation du milieu marin.

Accueilli conjointement par la COI de l'UNESCO et le GESAMP au siège de l'UNESCO à Paris, du 28 au 30 juin, l'atelier a fait état des enquêtes régionales et d'un volume grandissant d'articles scientifiques qui s'accordent à confirmer que nous ne faisons qu'empiler les problèmes à résoudre dans l'avenir.

Les micro-plastiques s'accumulent dans les régions du monde qui connaissent un développement accéléré et n'ont pas de tradition de gestion des déchets solides. La quantité et le type de plastiques qui se déversent dans l'océan sont, en outre, des notions sur lesquelles les informations sont très insuffisantes, notamment au sein des gouvernements, des municipalités, de l'industrie du plastique et des multinationales de détaillants. Le fait que les déchets plastiques provoquent des dommages physiques aux mammifères marins, aux poissons et aux invertébrés est bien établi : la mort d'animaux empêtrés, asphyxiés ou le blocage de leurs organes sont très courants.

Les micro-plastiques sont de petits fragments de plastique produits par la détérioration structurelle et la désintégration d'objets en plastique, tels qu'emballages et pellicules plastiques, vêtements, brosses à dents et rasoirs, ainsi que matériaux de construction et matériel de pêche perdu ou abandonné. Les micro-plastiques peuvent aussi aboutir directement dans l'océan sous forme de ces granules de résine plastique qui interviennent dans la fabrication des plastiques ou sont fabriquées à dessin comme abrasifs de sablage ou encore comme exfoliants cosmétiques pour le visage. On en a déjà trouvé dans quasiment tous les milieux côtiers et marins.

La production mondiale de plastique augmente en moyenne de 9 % par an. Elle a plafonné à 245 millions de tonnes en 2008 avant de retomber brièvement à 230 millions de tonnes en 2009. Au fur et à mesure que l'économie mondiale se relève, cette production reprend son essor.

Les scientifiques s'inquiètent tout particulièrement pour les micro-plastiques, car ils sont digestes et concentrent des contaminants toxiques qui pourraient s'accumuler dans le corps sans pouvoir être éliminés. Ce sont notamment les biphényles polychlorés, le dichlorodiphényltrichloroéthane – pesticide synthétique connu sous le sigle de DDT – et les éthers diphényles polybromés, utilisés comme retardateurs de flamme. L'impact de cette contamination sur les grands mammifères marins, les requins et les êtres humains, qui se trouvent au sommet de la chaîne alimentaire, est très peu connu.

Le plastique peut prendre aussi bien des décennies que des siècles à se fragmenter. Et surtout, au lieu de disparaître, il est plus probable qu'il finisse par s'incruster dans les sédiments et autres surfaces. Même l'arrivée sur le marché de plastiques biodégradables ou biosourcés devrait avoir des effets limités, car les conditions requises pour dégrader ces « plastiques intelligents » ne sont tout simplement pas disponibles, ni sur la terre ni en mer. Savoir comment ils se dispersent et ce qu'il advient d'eux une fois qu'ils ont pénétré dans l'océan, c'est une recherche qui ne fait que commencer à l'heure actuelle.

Pour en savoir plus :

www.gesamp.org/publications/publicationdisplay-pages/rs82; jl.valdes@unesco.org à GESAMP : tim.bowmer@tno.nl; peter.kershaw@cefias.co.uk.



Photo reproduite avec l'autorisation du British Antarctic Survey.

Jeune phoque à fourrure (Arctocephalus gazella) empêtré dans un filet de pêche à Bird Island, en Géorgie du Sud, île située à environ 1 000 km au sud-est des Malouines, dans l'Atlantique Sud.

3. Le GESAMP a pour mission de conseiller, sur toute nouvelle question liée à l'état de l'environnement, les agences qui le parrainent : OMI, FAO, UNESCO, ONUDI, OMM, AIEA, PNUE et PNUD.



Jean-Christophe Balouet

Scène de crime environnemental

Lorsque la police arrive sur le lieu d'un crime, il y a toutes les chances pour qu'elle soit accompagnée par une équipe scientifique. Cette dernière peut rechercher des traces de sang, de cheveux ou autres substances contenant de l'ADN laissées involontairement par un agresseur. Ou bien leur équipe peut être priée d'examiner des faux billets, des explosifs ou des drogues, retrouver le propriétaire de certaines empreintes digitales, ou encore déterminer de quel type d'arme à feu a pu tomber telle ou telle cartouche. Les deux questions principales auxquelles l'équipe tentera de répondre sont : que s'est-il passé et qui l'a fait ?

La montée du nombre de crimes et de différends portant atteinte à l'environnement entraîne la multiplication d'un nouveau type d'enquêteur : l'expert en forensie environnementale. Son équipe peut répondre à la plainte déposée par un particulier dont le terrain aura été contaminé, ou à la détermination du partage des torts dans un cas de « dommages toxiques » impliquant des communautés entières. Dans la recherche de preuves, l'expert fera appel à la chimie, la biologie, la génétique, la géologie, la toxicologie et autres domaines de la médecine, à la physique, aux mathématiques et même à l'ingénierie. Ici, l'expert français en forensie environnementale, Jean-Christophe Balouet, nous présente certains outils de sa profession.

Quand fait-on appel à un expert en forensie environnementale ?

La raison la plus courante est en cas de pollution. Il existe dans le monde entre quatre et six millions de sites pollués, près d'un pour mille habitants. Nous en découvrons des milliers chaque année autour du monde. Dans environ 90 % des cas, la faute en incombe aux carburants fossiles et aux solvants.

L'un des cas les plus faciles à résoudre est d'identifier le supertanker responsable d'une fuite de pétrole en mer. Une fois que l'expert a identifié le problème, il lui faut trouver la preuve du produit contaminant, par un processus appelé « le relevé d'empreinte ». L'analyse chimique y joue un rôle essentiel, car il existe un certain nombre de moyens pour caractériser les produits chimiques, d'autant que les composés purs à 100 % sont bien rares.

Les carburants fossiles sont un mélange d'hydrocarbures composés, en concentrations variables, de paraffines (ou n-alcanes), d'iso-alcanes, de naphthènes, d'aromatiques et d'oléfiniques, connus sous l'acronyme de PIANO. Il existe naturellement une forte concentration d'autres composés dans le pétrole brut. Ce sont, par exemple, le soufre, le chlore et les métaux traces présents dans le produit distillé. Au fil du temps, l'industrie a utilisé de nombreux autres additifs tels que le plomb organique dans les marques de pétrole au plomb.

Le pétrole brut laisse une signature, qui fournit une autre piste. Celui du monde arabe diffère de celui de l'Alaska ou de la mer du Nord. De même, l'âge géologique du champ pétrolifère influence la signature du pétrole. Les processus industriels de distillation du brut eux aussi laissent sur le composé manufacturé une signature chimique et isotopique distincte. Les empreintes chimiques ne laissent finalement au pollueur que peu de chances, sinon aucune, de demeurer dans l'anonymat.

Les mêmes principes s'appliquent à la recherche de l'origine d'autres polluants tels que les solvants chlorés utilisés par les teinturiers, qui ont pu s'infiltrer dans le sous-sol.

Autre exemple, le commerce illégal des substances réglementées ou contrôlées. Le protocole de Montréal adopté par les Nations unies en 1987 et ratifié par 195 nations, est en train d'éliminer progressi-

vement la production de substances appauvrissant l'ozone (SAO). Une SAO est un composé organique contenant du chlore, du fluor et du carbone. Des trafiquants ont essayé de contourner le protocole de Montréal en faisant passer des SAO nouvelles pour des substances recyclées ou autorisées. Ils ont également fractionné leur envoi en petits colis pour mieux les dissimuler, ou bien les ont fait transiter par des pays où les SAO étaient encore autorisées. Ils ont commis l'erreur de sous-estimer la vigilance et les compétences scientifiques des autorités : en 1997, un trafiquant russe s'est ainsi vu infliger une amende de 37 millions de dollars par une cour de justice américaine pour avoir tenté d'introduire en fraude près de 4 000 tonnes de SAO.

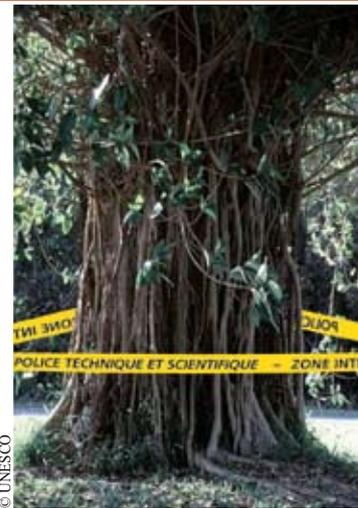
La pollution environnementale est-elle toujours rapidement détectée ?

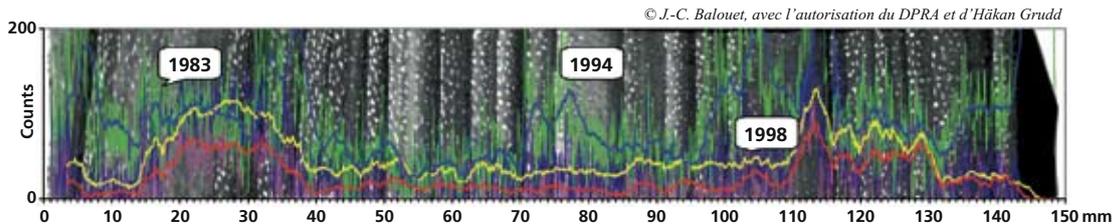
Sûrement pas. Le plus souvent, la pollution est découverte plusieurs années après s'être produite. À ce stade, les composés auront subi l'usure du temps et se seront éloignés de leur source. Il se peut aussi qu'une source de pollution ait fusionné avec une autre ; cela se produit souvent sur les grands sites industriels ou bien lorsque deux sources sont très proches, comme lorsque de l'essence au plomb et sans plomb sont distribuées par des stations de part et d'autre d'une route. Si un litige implique un tort, l'expert judiciaire peut être sollicité pour aider à fixer l'indemnisation.

Les experts jouent un rôle prépondérant dans la solution des litiges. Il peut se produire un différend sur la date précise où la pollution a eu lieu, par exemple si le propriétaire ou sa police d'assurance a changé dans l'intervalle. Quand une culpabilité doit être déterminée, il se peut que l'expert fournisse un alibi au suspect, comme dans n'importe quelle affaire criminelle.

Comment dater-vous l'origine de la pollution ?

Les polluants et leurs additifs permettent souvent de préciser le calendrier de l'émission. Il existe d'autres méthodes de datation comme le calcul de la vitesse de décomposition des polluants. On peut également dater l'âge de l'eau souterraine, car les contaminants de surface





anneaux du tronc. Ici, une image aux rayons X de la tranche d'un tronc d'arbre. Certains anneaux de référence ont été datés. Les couleurs du graphe révèlent la présence de phosphore (rose), de soufre (bleu) et de chlore (vert). Cette technique s'appelle la dendrochimie.

Le tronc des arbres enregistre la trace des contaminants. Plusieurs années, voire plusieurs décennies après l'infiltration de la pollution dans le sol, un enquêteur peut identifier les anomalies chimiques dans le bois et dater la contamination en corrélant ces traces et leur position sur les

auront été absorbés par les eaux de surface comme la pluie ; la pluie elle-même aura été polluée par des contaminants atmosphériques spécifiques à une période ou à un moment donnés, tels que les SAO ou le tritium émis à l'échelle du globe par les essais nucléaires. Ces dernières techniques sont d'une précision toute relative et ne sont pas toujours applicables. Par exemple, il est inutile d'employer la méthode du tritium à proximité d'une centrale nucléaire.

On vient de mettre au point des techniques qui utilisent les arbres comme enregistreurs de proximité. Lorsque des contaminants s'infiltrant dans le sol qui entoure un arbre, ils sont absorbés par la sève et fixés dans les cernes qui se forment année après année et qui nous donnent son âge. L'expert en forensie environnementale prélève un échantillon du tronc et l'analyse les anneaux de l'arbre pour déterminer la date où un polluant donné a affecté l'arbre, exactement comme les boîtes noires enregistrent le déroulement des événements dans un accident d'avion.

Dans les composés volatils, comme les carburants, les divers hydrocarbures du mélange évolueront différemment avec le temps. Certains s'évaporeront ou se dégraderont plus vite que d'autres. Par ailleurs, des microorganismes décomposeront les contaminants de façon sélective, en modifiant ainsi la signature isotopique des composés selon un processus dit de « spéciation ». De telles transformations nous donnent un produit chimique partiellement décomposé et certains sous-produits, autant de pistes importantes pour déterminer comment le polluant a évolué avec le temps.

Quelles sont les limites de cette nouvelle science ?

Toutes les méthodes d'analyse ont leurs limites. Pour obtenir le meilleur résultat, mieux vaut donc en combiner plusieurs.

Si les preuves sont irréfutables, les parties en présence se mettent d'accord pour ne pas avoir à affronter les tribunaux. Sinon, l'affaire peut se poursuivre en justice où les experts des adversaires défendront, assez logiquement, des arguments contradictoires. Les meilleurs experts doivent posséder non seulement des connaissances indiscutables en sciences, mais aussi en droit de l'environnement. Ils doivent aussi faire appel à leur talent d'orateur, car ils doivent non seulement présenter les faits matériels mais aussi convaincre la cour et les jurés.

Peu nombreux sont les cas de pollution environnementale qui font réellement appel aux procédures judiciaires. Le plus souvent, les responsabilités sont patentées, obligeant les compagnies à reconnaître leurs responsabilités. Le déversement de déchets toxiques près d'Abidjan, en Côte d'Ivoire, une nuit d'août 2006, a provoqué la mort de dix personnes. Soixante-dix autres ont été hospitalisées d'urgence et des centaines de milliers sont tombées malades ou ont développé des symptômes inquiétants. En quelques jours à peine, les coupables ont été identifiés et quelques semaines plus tard le nettoyage de l'environnement commençait. La compagnie Trafigura a négocié avec les autorités, en février 2007, une indemnité d'1 milliard de CFA (150 millions d'euros). Ce type d'accord stipule en général qu'aucune nouvelle réclamation ne sera recevable, ce qui exclut toute enquête ultérieure.

Qui fait appel à la forensie environnementale ?

La requête peut provenir des pouvoirs publics ou du secteur privé, qu'il s'agisse de grandes industries ou de petits propriétaires. Elle peut aussi provenir de compagnies d'assurance qui désirent vérifier s'il leur incombe véritablement de s'acquitter des frais de dépollution. En général, il importe que les preuves soient évaluées objectivement par un expert indépendant, afin d'éviter que les intérêts, financiers ou autres, n'influencent les témoignages.

Quant aux avocats, ils peuvent s'attacher les services d'un expert afin de protéger leur client, qu'il s'agisse d'une victime ou d'une personne tenue pour responsable des torts.

Le prix à payer pour des dégâts sur l'environnement peut être très élevé : depuis quelques dizaines de milliers de dollars pour nettoyer une petite fuite située sur des citernes enterrées privées – problème assez courant – jusqu'à des centaines de milliers ou même des millions de dollars lorsque la santé humaine est en cause. Les réclamations peuvent parfois s'élever à des milliards de dollars, comme dans le procès qui oppose actuellement une ONG de l'Équateur à une grande compagnie pétrolière ; cette dernière pourrait se voir condamnée à verser 27 milliards de dollars de dommages.

Depuis quand la forensie environnementale existe-t-elle en tant que spécialité ?

C'est surtout depuis une vingtaine d'années que s'est développé ce type d'expertise. Elle doit son essor à une conjonction de facteurs : la multiplication des cas de contamination de l'air, du sol et de l'eau, la sensibilisation grandissante des populations à l'environnement, le développement de l'arsenal des réglementations et les progrès des sciences fondamentales ainsi que des outils analytiques.

L'International Society of Environmental Forensics ne date que de 2000. La première formation universitaire en cette discipline a été inauguré par l'Université du Pays de Galles en 2003. Des dizaines de conférences ont, depuis, été organisées dans le monde afin de diffuser cette science et d'établir des réseaux internationaux. La Malaisie a créé en septembre 2008 un centre d'excellence en forensie environnementale à la Faculté d'étude de l'environnement de l'Université Putra Malaysia.

Avec une reconnaissance internationale du principe « pollueur-payeur », les torts infligés à l'environnement sont de plus en plus considérés comme un crime par beaucoup de nations. Les frais de réparation et de contestation sont si élevés qu'il vous faut une preuve indiscutable pour établir de façon objective les responsabilités. Au vu de la multiplication et de la diversité des litiges, l'expertise en forensie environnementale a une longue carrière devant elle.

Interview de Susan Schneegans

En savoir plus : jcbalouet@aol.com ; www.environmentalforensics.org
Conférences à venir : www.rsc.org/inef ; www.webs-event.com

Sciences sans frontières

L'une des révélations du *Rapport de l'UNESCO sur la science 2010* est la tendance croissante à l'internationalisation de la science. Cela se manifeste dans les statistiques de copublication d'articles, mais aussi par la multiplication des programmes et des centres de recherches reliant deux ou plusieurs pays entre eux.

Un environnement géopolitique plus favorable, ainsi que le caractère de plus en plus transfrontalier des grands problèmes à résoudre – s'agissant du changement climatique ou des pandémies, par exemple – incitent des gouvernements à forger de nouvelles alliances, ou à renforcer les anciennes, au moyen de la science.

Rien qu'en novembre dernier, l'Inde et les États-Unis ont conclu trois accords sur les énergies propres, la prévision des moussons et la surveillance des maladies à travers un projet de centre mondial de détection des maladies en Inde. Et cette tendance n'est pas du ressort exclusif de la diplomatie ; le nombre de consortiums internationaux d'affaires ne cesse d'augmenter dans les industries de haute technologie. Nous mettons en lumière ici quelques-uns des partenariats décrits dans le *Rapport de l'UNESCO sur la science 2010*.

À partir de 2012, des stations au sol établies en Afrique du Sud, aux îles Canaries (Espagne), en Égypte et au Gabon pourront recevoir les données émises par un satellite d'observation de la Terre, en construction en Chine et au Brésil. Ce sera le troisième satellite CBERS conçu et mis sur orbite depuis 1999 par le partenariat sino-brésilien. Jusqu'ici, les images satellitaires de l'utilisation des terres en constante évolution n'étaient livrées qu'à leurs utilisateurs en Chine et en Amérique latine, au rythme de plus d'un million et demi depuis 2004. Désormais, la Chine et le Brésil ont décidé d'étendre la liste des bénéficiaires aux pays africains. Étant donné qu'un satellite ne s'arrête pas aux frontières dans sa révolution autour de la Terre, il semble raisonnable de partager les données recueillies avec les pays situés sur le trajet du satellite, et de forger ainsi de nouveaux partenariats. La course à l'espace du siècle dernier a été détrônée par un nouveau paradigme, la diplomatie spatiale.

De plus en plus, la diplomatie internationale prendra la forme d'une diplomatie scientifique dans les années qui viennent.

Irina Bokova, Directrice générale de l'UNESCO

Avant-propos du Rapport de l'UNESCO sur la science 2010

Le partenariat sino-brésilien pour la mise au point de satellites a été bénéfique pour les deux parties. Il a, d'une part, permis au Brésil de surmonter un handicap technologique : en octobre 2003, lorsque le CBERS-2 a été lancé du Centre de lancement de satellites de Taiyuan en Chine, le Brésil ne disposait pas encore d'un véhicule adéquat. Le partenariat a également donné l'occasion au Brésil

et à la Chine de partager la charge financière de la construction de chacun des satellites CBERS. La participation du Brésil aux investissements du programme s'élève à environ 500 millions de dollars, dont 60 % sous forme de contrats industriels.

Cet exemple illustre une tendance de plus en plus marquée : le recours aux technologies spatiales pour surveiller l'environnement dans le cadre d'une collaboration internationale. Cela dénote une prise de conscience grandissante de la dégradation rapide de l'environnement et du changement climatique. La reconnaissance de l'imbrication naturelle du sol, de l'eau et de l'atmosphère s'est accompagnée de la certitude que le partage des données entre pays et continents sera vital pour nous permettre de mieux comprendre et surveiller l'environnement de la Terre.

C'est bien l'inquiétude sur l'état de l'environnement qui a poussé l'Union européenne (UE) à se doter de moyens d'observation de la Terre grâce à son initiative de Surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité. Depuis 2006, cette initiative paneuropéenne se prolonge par un partenariat qui construit des infrastructures d'observation de la Terre au service des politiques environnementales de l'Afrique.

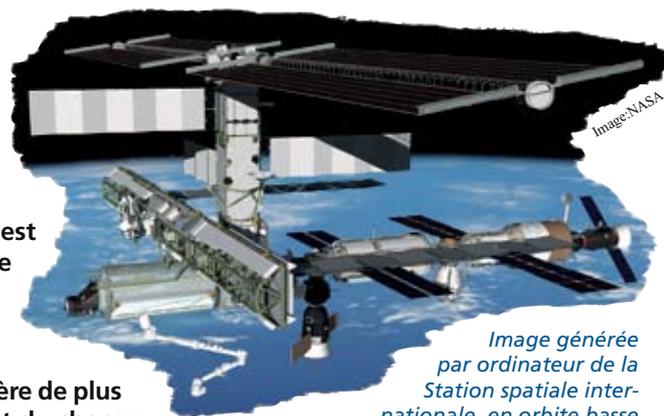


Image générée par ordinateur de la Station spatiale internationale, en orbite basse autour de la Terre

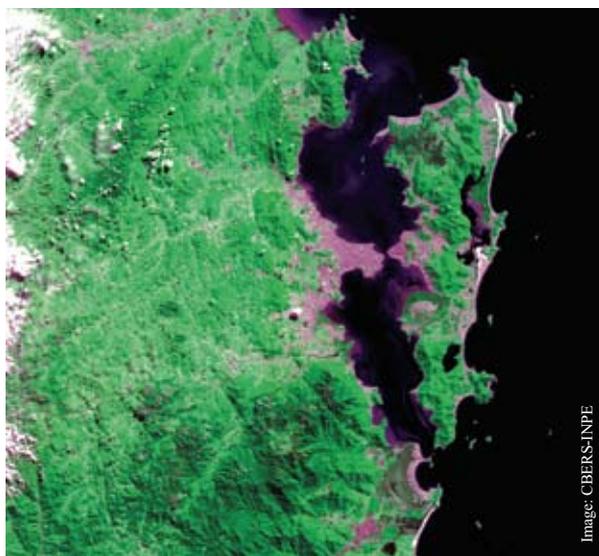


Image émise par le satellite CBERS-2 le 10 avril 2005 montrant (en rose) Florianópolis, capitale de l'État de Santa Catarina, dans le sud du Brésil



Publications internationales par des co-auteurs : la nouvelle donne

La nouvelle donne géopolitique et les considérations financières n'expliquent pas à elles seules l'essor de la collaboration scientifique internationale ces dernières années : celui-ci doit aussi beaucoup à la généralisation rapide des TIC. L'accès à Internet a doublé entre 2002 et 2008, pour passer de 11 % à 24 % de la population mondiale, et a même triplé dans les pays en développement, pour passer de 5 % à 17 % de leur population.

Ces dernières années n'ont pas seulement vu progresser le nombre d'articles internationaux écrits par des co-auteurs mais aussi se diversifier les partenaires des recherches. Entre 1998 et 2008, l'un des trois principaux partenaires de l'Australie en ce domaine a été la Chine, aux côtés de ses protagonistes habituels, les États-Unis et le Royaume-Uni. Pour les Philippines, les premières places sont allées aux États-Unis et au Japon, suivis de la Chine. Celle-ci a même été le partenaire numéro un de la Malaisie, devant le Royaume-Uni et l'Inde. Tout indique que le rôle croissant de la Chine et de l'Inde dans la publication scientifique par des co-auteurs, en raison de leur importance grandissante sur la scène mondiale, est déjà en train de transformer le paysage scientifique de l'Asie du Sud-est.

Quant à la Chine elle-même, son plus grand partenaire en matière de recherche est, de loin, les États-Unis. C'était déjà le cas en 1999-2003, mais la publication d'articles scientifiques par co-auteurs entre ces deux pays a désormais largement dépassé celle de son deuxième grand partenaire, le Japon.

Le voisinage immédiat ne conduit pas toujours au partenariat. L'Inde, l'Iran et le Pakistan publient au total 20 à 30 % de l'ensemble des articles de recherche en collaboration avec des étrangers, mais la plupart de ces derniers habitent des pays occidentaux. À peine 3 % de leurs articles sont publiés en collaboration avec des homologues travaillant en Asie du Sud. Au Brésil, où la collaboration scientifique internationale est restée stable depuis cinq ans, s'établissant à environ 30 % du total, « les scientifiques brésiliens sont les principaux partenaires » selon les auteurs Carlos Henrique de Brito Cruz et Hernan Chaimovich, respectivement Directeur scientifique de la Fondation de São Paulo pour la recherche, et CEO de la Fondation Butantan du Brésil. Ils citent une étude de 2009 selon laquelle « 11 % des articles scientifiques écrits par des Brésiliens entre 2003 et 2007 ont au moins un co-auteur aux États-Unis et 3,5 % au Royaume-Uni. L'Argentine, le Mexique et le Chili comptent, à eux trois, à peine 3,2 % des co-auteurs des articles signés par des Brésiliens ».

La diplomatie spatiale, sous-ensemble d'un phénomène plus ample

La diplomatie spatiale est, en fait, un sous-ensemble d'un phénomène qui aujourd'hui a pris de l'ampleur : la diplomatie scientifique. L'espace n'est que l'un des trois volets du partenariat associant l'UE et l'Union africaine. Le deuxième volet concerne la science *per se*. À ce titre, un projet de Sécurité en eau et nourriture et d'amélioration de la santé en Afrique a été doté, par exemple, d'un fonds de 63 millions d'euros. En même temps, la Commission de l'Union africaine a contribué à hauteur d'1 million d'euros pour la première année d'un projet de Vulgarisation de la science et de la technologie et de promotion de la participation du public.

Le troisième volet concerne les technologies de l'information et de la communication (TIC). Le projet AfricaConnect, par exemple, vise à resserrer les liens de la communauté des chercheurs africains, au niveau régional aussi bien qu'au niveau international, en améliorant la bande passante. En même temps, un Système africain d'échanges Internet (AXIS) est en voie de constitution afin de soutenir le développement des infrastructures d'Internet à l'échelle du continent. Un système de câbles sous-marins multipoint de fibre optique de 10 000 km de long est également en construction.

Partout dans le monde, des pays établissent des partenariats en science, technologie et innovation selon un vaste mouvement qui les pousse à forger des alliances politiques, devenir plus présents sur la scène mondiale et rationaliser l'usage des ressources. « Pour faciliter son intégration sur la scène mondiale de la science et de la technologie et y jouer un rôle plus important, la Russie a redoublé ses efforts de coopération internationale », écrivent dans le rapport Leonid Gokhberg et Tatiana Kuznetsova, de l'École supérieure d'économie de Moscou. Environ 10 % des scientifiques de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN), en Suisse, sont aujourd'hui d'origine russe, alors même que la Fédération de Russie n'est qu'un pays observateur.



Photo: Wikipedia Commons

Le Grand télescope d'Afrique australe dans la région semi-désertique du Karoo, en Afrique du Sud, associe pas moins de sept pays.

« Rédigée en concertation avec la Commission européenne, une feuille de route prévoit la création d'un espace commun UE–Russie d'éducation et de science, sur la base de l'égalité et du partenariat », selon ces mêmes auteurs. L'UE et la Russie mettent déjà en œuvre des initiatives de plus en plus nombreuses dans des domaines tels que les nouveaux matériaux, les nanotechnologies, la production d'énergie non nucléaire, les TIC et la biotechnologie. Au cours du sixième Programme-cadre pour la recherche et le développement technologique de l'UE (2002–2006), la Russie s'est même « classée au premier rang des pays tiers participants, aussi bien pour le nombre de projets exécutés avec des partenaires européens que pour le montant des fonds provenant de l'UE ».



Photo: CERN

Travaux sur un segment du Grand collisionneur de hadrons, accélérateur de particules avec lequel les scientifiques du CERN espèrent recréer les conditions du Big Bang

La quête de sources d'énergie propre prend de plus en plus de place dans les partenariats internationaux. En juin 2009, le Soudan a inauguré sa première usine de biocombustible, construite en coopération avec la compagnie brésilienne Dedini. Au Soudan encore, un autre projet associant l'Égypte pour un coût de 150 millions de dollars produit déjà des biocombustibles de seconde génération à partir de matières non comestibles, comme les déchets agricoles : paille de riz, tiges et feuilles.

La « puissance douce » des alliances bilatérales et multilatérales

La diplomatie scientifique n'est pas non plus du ressort exclusif de partenariats bilatéraux. Inauguré en novembre 2005, le Grand télescope d'Afrique australe dans la région semi-désertique du Karoo, en Afrique du Sud, associe pas moins de sept pays. Ce télescope optique, le plus grand appareil d'un seul tenant de l'hémisphère Sud, doit son existence à un consortium de partenaires d'Afrique du Sud, des États-Unis, d'Allemagne, de Pologne, d'Inde, du Royaume-Uni et de Nouvelle-Zélande.

Au Caire, le Centre régional l'énergie renouvelable et d'efficience de l'énergie compte dix membres : Algérie, Égypte, Jordanie, Liban, Jamahiriya arabe libyenne, Maroc, Autorité palestinienne, Syrie, Tunisie et Yémen. Fondé en 2008, ce centre pourra compter sur le soutien financier des trois partenaires de son développement : l'UE, l'Agence allemande de coopération technique et l'Agence danoise de développement international ; ceci jusqu'en 2012, date à laquelle il devrait devenir autonome grâce aux contributions de ses États membres et des ressources provenant de ses services de recherche et de conseil.

La diplomatie scientifique sert, au Moyen-Orient comme ailleurs, à favoriser simultanément le développement et la paix. La construction du Centre international de rayonnement Synchrotron pour les sciences expérimentales et ses applications au Moyen-Orient (SESAME) s'est terminée en 2008 en Jordanie. Ses membres sont : le Bahreïn, Chypre, l'Égypte, l'Iran, Israël, la Jordanie, le Pakistan, l'Autorité palestinienne et la Turquie. Dès que ce laboratoire de classe mondiale sera complètement opérationnel, d'ici quatre ans, les scientifiques pourront travailler ensemble sans distinction de pays ni de cultures au sein d'un même espace de recherches fonctionnant sous les auspices de l'UNESCO. En prévision de ce jour-là, quelque 65 hommes et femmes ont passé des périodes pouvant atteindre deux ans à travailler dans des centres de rayonnement synchrotron en Europe, aux États-Unis, en Asie et en Amérique latine. Ces centres se situent en majorité dans des pays observateurs du SESAME, qui sont au nombre de 12, parmi lesquels les États-Unis, la France, le Japon, Koweït et le Royaume-Uni.

Conformément à l'accord signé en 2003 par le Pakistan et les États-Unis, les deux pays « cotisent à un fonds commun géré conjointement par l'Académie nationale des sciences des États-Unis et la Commission de l'Enseignement supérieur ainsi que le Ministère de la science et la technologie du Pakistan », selon l'auteure Tanveer Nair qui, en qualité de présidente du Conseil pakistanais de science et technologie, a été la cheville ouvrière de cet accord historique. « Chaque année, nous sollicitons des projets de recherches en collaboration, supervisées par au moins deux scientifiques : un Américain et un Pakistanais. Les propositions sont évaluées par des comités de pairs dans les deux pays et sont sélectionnées au mérite. Ce programme a non seulement permis de renforcer les compétences des laboratoires pakistanais » déclare-t-elle, « mais a abouti à la découverte en commun d'un vaccin pour prévenir la maladie mortelle des piqûres de tiques dont sont victimes les personnes travaillant à l'élevage dans la région méridionale du Sindh, au Pakistan ».

Partager les super-coûts de super-projets

Au-delà de la noble ambition de favoriser le développement, la collaboration internationale en science et technologie est évidemment motivée aussi par le désir plus pragmatique de mettre en commun les ressources, compte tenu de l'augmentation constante du coût des infrastructures scientifiques. Le prix d'un unique projet international d'énergie propre fondé sur l'éventuelle maîtrise de la fusion nucléaire a été estimé à 10 milliards de dollars. C'est « le projet de plus ambitieux de collaboration scientifique jamais conçu », écrit Peter Tindemans, consultant anciennement chargé de coordonner la recherche et la politique scientifique aux Pays-Bas. Le projet vise à créer, d'ici 2018, un Réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER) à Cadarache (France).



Photo: NASA

La navette spatiale Endeavour quitte le Centre spatial Kennedy de la NASA le 15 juillet 2009 pour son rendez-vous avec l'équipe de la Station spatiale internationale.

Si le projet associe non seulement les puissances scientifiques traditionnellement dominantes – UE, Japon, Fédération de Russie et États-Unis – mais aussi la Chine, l'Inde et la République de Corée, cela est dû à l'importance économique et technologique croissante de ces derniers pays. La Chine, par exemple, « prendra en charge 9,09 % du coût de la construction et dépensera, au total, plus d'1 milliard de dollars », écrit dans le rapport Mu Rongping, Directeur du Centre d'innovation et de développement de l'Académie des sciences de Chine. « Quelque 1 000 scientifiques chinois participeront au projet

ITER [et] la Chine sera chargée de mettre au point, d'installer et de tester 12 de ses composants » explique-t-il.

Autre projet extrêmement coûteux : l'assemblage en cours de la Station spatiale internationale en orbite basse autour de la Terre, qui doit être terminé l'année prochaine. Ce projet fait appel aux compétences et au financement des agences spatiales du Canada, des États-Unis, de la Fédération de Russie, du Japon et de l'UE.

Une bonne affaire

Le monde des affaires n'a pas été long à évaluer les avantages de la collaboration scientifique internationale. En plus du partage des dépenses, les consortiums internationaux offrent une chance en or de conquérir de nouveaux marchés. L'impressionnant succès du consortium d'Airbus, dû à la fusion de sociétés de construction anciennement indépendantes appartenant à quatre pays européens – Allemagne, Espagne, France et Royaume-Uni – représente un exemple éclatant du potentiel de la coopération européenne. Un exemple sans doute moins connu est celui de Sea Launch, consortium qui réunit quatre compagnies privées des États-Unis, de Norvège, de la Fédération de Russie et d'Ukraine. Sea Launch offre à sa clientèle une plate-forme off-shore unique et mobile pour le lancement de vaisseaux spatiaux.

Vingt ans après la chute du Rideau de fer, la Fédération de Russie assiste au développement rapide de ses contacts commerciaux et de ses coentreprises en science et technologie associant des compagnies russes et étrangères. En 2010, l'entreprise par actions unissant la société française Alcatel-Lucent et la société d'État Russian Technologies a commencé à investir dans la mise au point, la fabrication et la commercialisation de matériel de télécommunications pour le marché russe et celui de la Communauté des États indépendants. De même, la compagnie russo-étatsunienne IsomedAlpha s'est lancée dans la production de matériel médical de haute technologie, comme les tomographes électroniques.

« Ces partenariats internationaux permettent d'intensifier l'exportation de produits et de services de haute technologie dans certaines zones », remarque Leonid Gokhberg et Tatiana Kuznetsova. Ils ajoutent qu'entre 2005 et 2007, les exportations russes de TIC ont doublé et celles de matériel électronique, aérien et spatial ont augmenté de 40 à 50 % ».

Susan Schneegans⁴

Une version plus courte de cet article a paru dans le Courrier de l'UNESCO de janvier 2011.

4. Rédactrice en Chef, Rapport de l'UNESCO sur la science 2010 : s.schneegans@unesco.org

La biodiversité en kit

Tout au long de l'Année internationale de la biodiversité, l'UNESCO a entrepris de développer un Kit éducatif sur la biodiversité. Composés d'un *Manuel de référence sur la biodiversité* et d'un *Livret des activités*, ces nouveaux contenus éducatifs entendent à la fois informer et sensibiliser les jeunes et leurs professeurs, ainsi que le grand public, aux enjeux de la biodiversité.

Qu'entend-on par les services de soutien fournis par les écosystèmes ? Pourquoi les populations d'abeilles déclinent-elles ? Dans cet extrait tiré du manuel, nous découvrons comment les écosystèmes maintiennent les conditions favorables à la vie sur Terre, que ce soit par la formation des sols, le cycle des éléments nutritifs, la production de biomasse, l'offre en habitats naturels, la rétention et le transport des sédiments, la production de dioxygène atmosphérique, le cycle de l'eau ou celui du carbone.

À l'origine de la formation des sols, on trouve la matière minérale, roche ou sédiments qui affleurent. Lorsqu'il est découvert, ce substrat est dur mais dégradé. Ses premières transformations résultent de l'action du climat : du gel et du dégel, de la chaleur, de l'eau, de l'atmosphère, qui interagissent avec la nature même de la roche (granitique, calcaire) pour la transformer et la dégrader. Sur les affleurements de roche nue, les premières et parfois les seules plantes à s'installer sont des lichens, aptes à vivre sans sol, mais produisant des acides capables de désagréger la roche en surface.

On appelle érosion biochimique cette action des moindres racines qui se glissent dans les interstices et, par leurs sécrétions, dégradent les minéraux. La texture de la dégradation ne sera pas la même selon que l'on est en présence d'un substrat granitique ou d'un sédiment calcaire. Mais on obtient le même résultat : les produits de la dégradation minérale se mêlent aux produits de la dégradation végétale pour former un sol d'une épaisseur croissante là où il n'y avait auparavant qu'un roc nu. Ce processus est très lent, ce n'est qu'au fil du temps que les plantes réussissent à s'implanter sur les débris amassés : suite aux lichens, des mousses, puis des espèces herbacées, des arbustes, qui vivent, érodent les roches, meurent, leurs restes s'incorporant aux masses inertes de particules minérales pour les transformer en milieu-support de vie.

Recyclage de la nécromasse

Le sol est cependant une matrice complexe. La végétation fournit des débris végétaux qui constituent une couche de matière organique, la litière, jonchant le sol et provoquant du fait de sa dégradation l'érosion de la roche. Mais la matière organique de cette litière n'est pas seulement composée de branches, feuilles,

fruits, racines issus de végétaux morts, elle se compose aussi de cadavres d'insectes, d'animaux, d'excréments, de mucus, de mues, et forme une couche de déchets divers produits par les êtres vivants : la nécromasse ou matière organique morte, par opposition à la biomasse, matière organique vivante.

La nécromasse joue un rôle majeur dans la fertilité du sol et le cycle des nutriments. Elle est décomposée et recyclée sous l'action d'une chaîne d'organismes, insectes et petits animaux, champignons, micro-organismes, vivant dans le sol ou à sa surface, et produisant de l'humus et des composés minéraux. Le cadavre d'un criquet est rapidement recouvert des hyphes d'un champignon que l'on compte au nombre des décomposeurs, au même titre que les fourmis qui peuvent disséquer de gros morceaux, des brindilles ou des graines, les insectes nécrophages comme certains diptères ou coléoptères spécialisés dans les cadavres, les coprophages, champions des nettoyeurs comme les bousiers qui décomposent les excréments et, enterrant les débris dans le sol, éliminent les organismes parasites des vertébrés et autres vecteurs de maladies qu'ils peuvent contenir.

Certains décomposeurs, dont les champignons et de nombreuses bactéries, affinent la matière morte et la transforment jusqu'à son complet retour à l'inorganique, recyclant ainsi les éléments nutritifs dans le sol. Sans le recyclage de la nécromasse par les espèces vivantes, les producteurs que sont les végétaux ne peuvent croître, les chaînes alimentaires se construire, et les quantités d'énergie fondatrices du fonctionnement des écosystèmes se transmettre.

Production de l'humus

En se décomposant, la matière organique produit un état de minéralisation (des composés minéraux sont libérés) et un état



d'humidification de composés organiques mous qui se lient entre eux et aux argiles. Cette humidification crée l'humus, sans lequel un sol fertile ne peut se constituer.

L'humus agit comme un « manteau » de surface; c'est une couche de terre végétale foncée, naturellement protectrice, retenant bien l'eau, un engrais de nature chimique variable selon la matière organique. Il entretient durablement les couches inférieures du sol plus ou moins perméables et aérées en les imprégnant par endroits, et les recharge naturellement en nutriments.

Dans les régions arides ou désertiques, en l'absence de couverture végétale, l'humus a du mal à se former. Et cette protection ôtée, le sol devient vulnérable à l'érosion et peut être détruit. Il s'agit alors de protéger les terres nues des averses violentes et des vents, en ayant souvent recours à la diversité végétale disponible : grâce à des haies protectrices ou fertilisatrices qui sont plantées, grâce à des cultures de plantes à croissance rapide qui fixent les terres exposées.

Cycle des nutriments

Les nutriments tels que l'azote, le phosphore, le magnésium, le potassium, le cuivre et le calcium sont indispensables à la croissance des plantes et donc à l'édification et au maintien des écosystèmes. Les espèces vivantes participent constamment au cycle des nutriments : elles les absorbent lorsqu'elles les trouvent dans leur nourriture ou les puisent dans leur milieu (comme les végétaux par leurs racines), elles les stockent ou les transmettent par leur propre matière (quand les végétaux sont consommés par les animaux), elles recyclent les nutriments lorsqu'elles décomposent la nécromasse ou lorsqu'elles meurent elles-mêmes, libérant des substances nutritives par leurs restes décomposés.

Au cours de leur cycle, les nutriments passent constamment du vivant au non vivant et la biodiversité constitue leur support, leur véhicule. Considérons un exemple : parmi les nutriments, on distingue les macroéléments comme le carbone ou l'azote qui sont utilisés en grande quantité par les êtres vivants. L'azote régule notre métabolisme en élaborant les protéines indispensables à nos cellules. Il est naturellement présent dans l'atmosphère, constituée à 78% d'azote gazeux, mais nous, êtres humains, ne pouvons pas le mobiliser directement. Au même titre que la plupart



©Alan Morgan / Alpha Presse

des espèces, nous couvrons nos besoins en azote en le puisant dans notre nourriture.

Seules les bactéries peuvent utiliser directement l'azote atmosphérique. Tombant avec les pluies sous la forme d'acide nitrique faible, l'azote est mobilisé par les bactéries nitrifiantes du sol qui convertissent les composés azotés en nitrates. Les végétaux absorbent les nitrates par leurs racines et les transmettent aux animaux et...aux humains.

L'azote est donc combiné à d'autres éléments grâce aux bactéries fixatrices d'azote,

dont celles du genre *Rhizobium* qui envahissent les racines profondes des légumineuses (haricots, luzerne, trèfles, vesces, alfalfa selon les régions), où elles forment des nodules fixateurs d'azote. Cet azote est « incorporé » aux protéines de la plante qui le diffuse par ses racines et le rend disponible aux autres végétaux. Une fois les nitrates répandus dans le sol, d'autres bactéries les absorbent et libèrent de l'azote dans l'atmosphère, bouclant ainsi le cycle de cet élément naturel indispensable à tous (nous-mêmes faisons partie de ce cycle puisque nous libérons des composés azotés lorsque nous mourons!).

Production de biomasse

On entend par biomasse la masse totale d'organismes vivants mesurée dans une unité donnée, sur une aire précise ou au sein d'une population. Les plantes représentent près de 90% de la biomasse. La production de biomasse est générée par les plantes elles-mêmes qui, en un sens, fabriquent leur propre matière végétale. À la base des chaînes alimentaires, les plantes sont en effet des producteurs. Le plus souvent enracinées dans le sol, elles absorbent de l'eau et des éléments nutritifs par leurs racines, ainsi que du gaz carbonique par les stomates de leurs feuilles. Lors du processus naturel de photosynthèse, elles captent l'énergie solaire et, grâce à la chlorophylle contenue dans leurs organes, s'en servent pour convertir l'eau et le gaz carbonique en sucres simples qui constituent leur nourriture. En absorbant cette nourriture, les plantes produisent de la matière végétale qui, par la suite, va nourrir d'autres organismes vivants.

Au-delà de la photosynthèse, la biodiversité participe à la production de biomasse à travers les nombreux processus d'interaction biologique que cette production sous-tend. Car la biomasse émane nécessairement d'organismes extrêmement diversifiés. Ce sont les plantes à fleurs (angiospermes), apparues il y a 150 millions d'années, qui ont suscité dans le temps cette dynamique de diversification. Les nombreuses familles et espèces d'angiospermes qui constituent la grande majorité de nos plantes actuelles assurent leur reproduction de manière sexuée en faisant appel à des « tiers », à d'autres espèces pour les assister dans les étapes de reproduction au sein de leur propre espèce: pollinisateurs, disséminateurs variés ...

Les castors sont des animaux ingénieurs. Ils coupent le bois, assemblent et entretiennent des barrages où ils abritent des communautés d'invertébrés et de micro-organismes aquatiques, à la base des chaînes alimentaires.



Dans le temps, cela a eu pour effet de susciter au moins deux phénomènes : le brassage génétique et l'adaptation lente de ces plantes à leur milieu au fil de leur évolution. Elles ont ainsi « co-évolué » avec d'autres espèces de la même communauté, ce qui a suscité une extraordinaire diversité.

Préserver un service de soutien comme la production de biomasse revient à préserver les maillons précieux des interactions biologiques qui la conditionnent. Or, des réductions de la diversité des insectes pollinisateurs essentiels à la reproduction des plantes ont partout été observées. Les polluants atmosphériques, parmi lesquels des biocides, insecticides ou fongicides, dégradent les molécules de l'arôme des fleurs et réduisent la portée des fragrances florales et autres phytohormones.

Cela rend plus difficile la localisation des fleurs par les pollinisateurs, ce phénomène expliquant en partie le déclin des populations d'abeilles mais également d'oiseaux et de chauve-souris nectarivores dans de nombreux pays dotés de systèmes industriels et agricoles puissants.

La régression des effectifs de pollinisateurs influe sur le taux de reproductibilité de certaines espèces, ce qui a de sérieuses conséquences sur les cultures de fruits, de légumes et d'oléagineux et influe plus généralement sur la production de matière vivante. Une étude parue dans *Ecological Economics* menée par un panel de chercheurs français et allemands a chiffré à 153 milliards d'euros la valeur de l'activité pollinisatrice des insectes dans le monde durant l'année 2005, en se limitant aux principales cultures dont l'homme se nourrit.

Rappelons aussi le rôle important joué par les agents disséminateurs ou « germinateurs ». Songeons au rôle des fourmis granivores dans les écosystèmes semi-désertiques australiens qui, en consommant l'enveloppe des graines de plantes herbacées, rejettent le reste de ces graines et concourt à les disséminer très uniformément, ce qui explique la densité des magnifiques tapis floraux dès le retour des pluies au printemps.

Un autre exemple de coopération concernant l'activité germinative est celui des bousiers coprophages des forêts humides d'Amérique centrale qui, en enfouissant dans le sol les graines contenues dans les excréments d'animaux frugivores, en facilitent beaucoup la germination. Ou encore des associations particulièrement remarquables comme celle du casse-noix moucheté et de l'arole ou pin cembro en montagne : l'oiseau appréciant les grosses amandes contenues dans les cônes du pin, les emmagasine dans son oesophage et sous sa langue pour les dégorger ensuite et les enfouir çà et là en prévision de l'hiver. Les graines oubliées vont germer et assurer la propagation du pin dans les territoires les plus inaccessibles.



©Nadine Samson



©Olivier Brestin

Biodiversité et cycle du carbone

Comme le cycle de l'azote, le cycle du carbone est un des grands cycles biogéochimiques de notre planète. Il correspond à l'ensemble complexe des échanges d'éléments carbone entre l'eau, les roches, la matière vivante, la nécromasse et l'atmosphère de la Terre. Au même titre que l'azote, c'est un macro-élément : tous les êtres vivants renferment l'élément carbone.

Au cours de la photosynthèse, les végétaux absorbent le carbone atmosphérique sous forme de gaz carbonique et le transforment en molécules organiques énergétiques (glucides, protéines, lipides). Les animaux eux, comme pour l'azote, absorbent du carbone en mangeant des végétaux ou d'autres animaux.

Lorsque les êtres vivants meurent et sont normalement décomposés par des micro-organismes, la majeure partie de leur carbone retourne dans l'atmosphère. Là où il n'y a pas assez d'oxygène générant une réelle activité microbienne dans le sol, les micro-organismes ne décomposent pas les restes carbonés et ceux-ci s'accumulent, immobilisés sous terre. Ils finissent par se transformer en charbon, pétrole ou gaz naturel et constituent des réserves naturelles de carbone.

Nos activités humaines industrielles ou liées aux infrastructures utilisent massivement la combustion de roches carbonées (charbon, pétrole et gaz). Lorsque ces combustibles fossiles sont brûlés, le carbone est libéré dans l'atmosphère.

Une autre source importante de rejet de gaz carbonique d'origine humaine est la combustion massive de matières organiques due à la déforestation. On estime ainsi que 750 millions d'ha de savanes sont brûlés chaque année, dont près de la moitié en Afrique.

L'impact des interventions humaines sur la modification du cycle du carbone est aujourd'hui chiffrable : au cours des deux derniers siècles, la concentration de dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂) a augmenté d'un tiers. Ce déséquilibre est en grande partie à l'origine d'un phénomène conséquent de réchauffement climatique causé par l'action de gaz à effet de serre du CO₂ et du méthane anormalement concentrés dans l'atmosphère.

Il est essentiel d'analyser et de prendre en compte le rôle de la biodiversité dans la régulation du climat et le stockage potentiel de carbone par la photosynthèse. Celle-ci « extrait » le CO₂ de l'atmosphère en le piégeant ou le stockant dans les réservoirs naturels que sont par exemple les forêts. Chaque année, la forêt amazonienne recycle 66 milliards de tonnes de CO₂, soit près de trois fois les émissions des carburants fossiles brûlés dans le monde. Imaginons ce qu'il adviendrait en termes de réchauffement climatique si la forêt amazonienne évoluait d'un rôle de « puits de carbone » vers un rôle de « source » de carbone pour l'atmosphère.

Hélène Gille⁵

Pour en savoir plus, voir page 24

5. Rédactrice et conceptrice du Kit éducatif sur la biodiversité : h.gille@unesco.org

Agenda

16-21 janvier

Institut de chimie sud-africain (SACI)

Congrès de la Fédération des sociétés africaines de chimie, avec le SACI, parrainé par l'UNESCO. Présentation de la recherche dans les filières traditionnelles de la chimie et hommage aux chimistes éthiopiens instigateurs de l'Année intern. de chimie. Université de Witwatersrand, Johannesburg (Afrique du Sud) : jdarkwa@uj.ac.za; Neil.Coville@wits.ac.za; iyc2011@unesco.org

17-20 janvier

Risques naturels extrêmes et risques de cataclysmes en Afrique

Atelier intern. coparrainé par les unions scientifiques intern. (UIGG, UGI, UISG, IUTAM, AGU) et le Système mondial d'observation de l'océan de la COI de l'UNESCO. Hatfield, Pretoria (Afrique du Sud) : www.technoscene.co.za/hazardsws/

18 janvier

Des femmes partagent un moment de chimie

Campagne mondiale de mise en réseau de petits-déjeuners pour femmes chimistes, enregistré en SKYPE et à diffuser au lancement de l'Année à l'UNESCO, Paris. Contacter les organisateurs (en Australie) : m.garson@uq.edu.au; (en Égypte) : r.abou-el-azm@unesco.org; iyc2011@unesco.org

24-26 janvier

Problèmes de base de la biodiversité et du changement climatique dans la péninsule arabique

Formation pour spécialistes des médias. Mascate (Oman) : b.boer@unesco.org

25 janvier – 27 février

Portraits de Prix Nobel de chimie
Expo de 76 lauréats, photographiés par Peter Badge. Avec le CNRS, au Musée des arts et métiers. Dix autres portraits seront exposés à l'UNESCO (27-28 janvier). Paris (France) : france.auda@cnam.fr

27-28 janvier

Lancement de l'Année internationale de la chimie

Parmi les thèmes : histoire de la chimie, rôle des femmes chimistes, tendances mondiales et chimie pour le développement durable, UNESCO, Paris. Autres inaugurations prévues en Éthiopie et ailleurs : iyc2011@unesco.org; www.chemistry2011.org

7 février – 18 mars

Négociation et médiation pour gérer les litiges concernant l'eau

Deux cours organisés par le programme de l'UNESCO Du conflit potentiel au potentiel de coopération, et l'IHE de l'UNESCO : 1^{er} cours, 7-25 février, date

limite pour candidatures : 7 janvier ; 2^{ème} cours : 28 février – 18 mars ; date limite : 28 janvier. Delft (Pays-Bas) : www.unesco-ihe.org; l.salame@unesco.org

16-18 février

Réunion du Bureau scientifique du PICG

UNESCO, Paris : m.patzak@unesco.org; r.missotten@unesco.org

16-18 février

Comité consultatif international sur les réserves de biosphère

17^{ème} réunion de recommandation l'admission de nouveaux sites. UNESCO, Paris : mab@unesco.org; www.unesco.org/mab

21-24 février

Améliorer les capacités d'un enseignement de qualité en chimie

Aux niveaux secondaire et supérieur en Éthiopie. Addis-Abeba : a.makarigakis@unesco.org

21 février

50^e anniversaire de l'UISG

L'Union intern. des sciences géologiques célèbre ses 50 ans. UNESCO, Paris : r.missotten@unesco.org

21-22 février

Sites de recherche du MAB

Réunion sur la création de sites de recherche

du MAB distinct du Réseau mondial des réserves de biosphère. UNESCO, Paris, Salle XV : t.schaaf@unesco.org

28 février – 3 mars

Sismicité et ingénierie des séismes dans le pourtour méditerranéen

Atelier UNESCO/UISG à l'intention de 60 scientifiques de 20 pays. Au siège du Bureau géologique de Chypre. Nicosie (Chypre) b.rouhban@unesco.org

2-3 mars

Prix L'ORÉAL-UNESCO pour les femmes et la science

Cérémonie pour les 15 boursières (le 2 mars) et les 5 lauréates (le 3 mars). Centrée sur l'Année intern. de chimie. UNESCO, Paris, Salle IV : r.clair@unesco.org

22 mars

Journée mondiale de l'eau : L'eau pour les villes

Célébration annuelle mondiale. Le Programme mondial d'évaluation des ressources en eau invite. Pérouse (Italie) : www.unesco.org/water/wwap/

23 mars

Exercice « Caribe wave 11 »

Simulation de tsunami pour favoriser les efforts de préparation dans l'ensemble de la région des Caraïbes. Toutes les organisations de gestion des catastrophes. b.aliaga@unesco.org; www.ioc-tsunami.org/

Vient de paraître

Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development

Rédacteur en Chef Tony Marjoram. Collection Ouvrages de référence UNESCO, Éditions UNESCO, ISBN: 978-92-3-104156-3. En anglais, €26,00, 396 p. D'après les travaux de plus de 120 experts du monde entier. Voir également page 9. Pour le télécharger : <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001897/189753e.pdf>

Nanoscience and Nanotechnologies

Volume thématique de l'Encyclopédie sur le développement durable, Collection environnement et développement, Éditions UNESCO/Magister Press. ISBN: 978-92-3-404137-9. Existe en russe, €32,00, 1024 p. Ce volume réunit des articles de nanotechnologies de plus de dix pays, dont la Chine, les États-Unis et la Russie. Il s'adresse à des étudiants en fin d'études et à leurs professeurs, aux chercheurs et aux décideurs.

Sea-level Rise

T. Aarup, J.A. Church, W.S. Wilson et P.L. Woodworth (rédacteurs en chef), adaptation du Chapitre 13 de l'ouvrage de Church, J.A. et coll. (2010) Sea Level Rise and Variability – Synthesis and Outlook for the Future. Wiley-Blackwell. En anglais, 12 p.

Les zones côtières ont connu de profonds changements au cours du 20^{ème} siècle par suite de la croissance de leur population, de leur économie et de l'urbanisation. La société devient de plus en plus vulnérable à l'élévation et à la variabilité du niveau de la mer, comme l'a prouvé l'ouragan Katrina à la Nouvelle-Orléans (États-Unis) en 2005. Conclusions de l'atelier organisé en 2006 à Paris, sous les auspices du Programme mondial de recherche sur le climat de la COI de l'UNESCO autour de 163 scientifiques de 29 pays. Pour en savoir plus : t.aarup@unesco.org; download: <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001893/189369e.pdf>

Advanced Simulation and Modelling for Urban Groundwater Management – UGROW

Rédacteurs en chef : Dubravka Pokrajac et Ken Howard, Collection Eaux urbaines, Éditions UNESCO/Taylor & Francis, ISBN: 978-92-3-104173-0, en anglais, €38,00, 252 p. Conclusions d'un projet UNESCO-PHI. UGROW constitue un ensemble cohérent de simulation des systèmes d'eau urbaine, conçu comme outil de prise de décision pour la gestion des eaux urbaines. Il traite particulièrement des eaux souterraines urbaines ; toutes les autres grandes questions relatives aux éléments de ces systèmes sont cependant détaillées et reliées entre elles. L'ouvrage contient un CD-ROM présentant une version très fonctionnelle d'UGROW.



Kit éducatif sur la biodiversité

Rédactrice et conceptrice du Kit : Hélène Gille. Directeur de la publication : Salvatore Arico. Conception graphique : Mecano/Laurent Batard. Volume I (Manuel de référence sur la biodiversité, environ 150 p.) et Volume II (Livret des activités, environ 50 p.). Produit par l'UNESCO-MAB. ISBN à venir. Version française en cours de préparation, version anglaise à venir. Contribution à l'Année internationale de la biodiversité et à la Décennie de l'éducation en vue du développement durable (2005-2014) [voir page 21]. Le kit sera testé en 2011 dans le Réseau des écoles associées.

Pour en savoir plus ou en demander un exemplaire : s.arico@unesco.org; h.gille@unesco.org; n.lazic@unesco.org; mab@unesco.org; www.unesco.org/mab

Patrimoine mondial Patrimoine et biodiversité

Numéro 56 de la revue, Centre du Patrimoine mondial de l'UNESCO/Éditions UNESCO, ISBN: 92-3-1WH005-6, €7,50. En français, en anglais et en espagnol, 88 p. Ce numéro célèbre l'Année internationale de la biodiversité. Il fait état des synergies entre les sites du Patrimoine mondial et les principales zones de biodiversité, le programme du Patrimoine mondial marin, les liens entre diversité biologique et culturelle ainsi que le financement de la protection de la biodiversité. Les sites mis en exergue sont par exemple les Ghats occidentaux (Inde) et Kew Gardens (Royaume-Uni) ainsi que plusieurs sites en danger.

Atlas of Mangroves

De Mark Spalding, Mami Kainuma et Lorna Collins. Publié par la Société internationale 7des écosystèmes de mangrove et l'Organisation internationale des bois tropicaux, avec leurs partenaires de la FAO, du Centre mondial de surveillance de la conservation du PNUE, de l'UNESCO-MAB, de l'Institut de l'UNU pour l'eau, l'environnement et la santé et de The Nature Conservancy. Financé par le gouvernement japonais. ISBN: 9781844076574, £65,00. En anglais. Éditions espagnole et française à paraître, 336 p. Une centaine d'experts internationaux, chercheurs et organisations spécialisés dans les mangroves ont collaboré à la rédaction de cet atlas en couleurs qui précise la répartition et l'évolution des mangroves dans le monde, y compris dans les parcs nationaux, les sites du Patrimoine mondial, les réserves de biosphère et les sites Ramsar. Toutes les données et les cartes proviennent d'images satellitaires récentes. Les annexes présentent les aires et les dessins des espèces, des listes nationales d'espèces ainsi que des statistiques nationales, notamment les zones de mangroves par pays. Pour en savoir plus : m.chusener-godt@unesco.org; pour commander un exemplaire : ism@mangrove.or.jp; www.earthscan.co.uk/tabid/34104/Default.aspx