



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

La chimie et la vie

Science et art de la matière

Jean-Marie Lehn

Toute une histoire

Michal Meyer

La lumière

Tebello Nyokong

Pacte contre le cancer

Anlong Xu

Du noir au vert

Jens Lubbadeh

Arbres synthétiques

Klaus Lackner

Lettre à un jeune chimiste

Akira Suzuki

Dans nos rubriques :

Atomes crochus

Rolf-Dieter Heuer

La seconde vie de Touki Bouki

Souleymane Cissé

LE
Courrier
DE L'UNESCO

● Janvier-Mars 2011

ISSN 2220-2269



NOS AUTEURS



Année internationale de la
CHIMIE
2011

AIC 2011

L'Année internationale de la chimie 2011 (AIC 2011), proclamée par l'Assemblée générale des Nations Unies sur une proposition de l'Éthiopie, vise à célébrer les contributions de la chimie au bien-être de l'humanité. Sous la devise « La chimie : notre vie, notre avenir », l'Année mettra en relief le rôle que cette science est appelée à jouer dans des domaines aussi variés que la santé, l'alimentation, l'environnement, l'énergie ou les transports. L'AIC 2011 s'adresse tout particulièrement aux jeunes et

aux non-spécialistes, en leur proposant de s'associer à un éventail d'activités interactives, divertissantes et éducatives à travers le monde (www.chemistry2011.org/).

L'année 2011 marque le centenaire de l'attribution du prix Nobel de chimie à Marie Skłodowska-Curie et celui de la création, à Paris, de l'Association internationale des sociétés de chimie, devenue, en 1919, l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC).

L'IUPAC, dont le siège est à Zurich (Suisse), a été fondée par des chimistes issus des milieux académique et industriel dans le dessein d'encourager la coopération internationale dans le domaine de la chimie et de jeter des passerelles entre la recherche scientifique, les applications industrielles et le secteur public. C'est grâce à l'IUPAC que les chimistes du monde entier disposent d'une « langue commune » : nomenclature, symboles, terminologie, poids atomiques standard, etc. Cinquante-quatre sociétés et organisations nationales sont membres de l'Union, qui compte également trois membres associés.

L'UNESCO et l'IUPAC organisent l'AIC 2011 en partenariat avec des sociétés privées. L'Année internationale est lancée le 27 janvier 2011 au siège de l'UNESCO, à Paris, avec la participation de nombreux chercheurs et ingénieurs de renom.



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

LE Courrier DE L'UNESCO

Janvier-Mars 2011

Le Courrier de l'UNESCO est publié par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.
7, place de Fontenoy 75352, Paris 07 SP, France
www.unesco.org/courrier

Directeur de la publication : Eric Falt

Rédactrice en chef : Jasmina Šopova
j.sopova@unesco.org

Secrétaire de rédaction : Katerina Markelova
k.markelova@unesco.org

Rédacteurs :

Anglais : Peter Coles

Arabe : Bassam Mansour assisté par Zaina Dufour

Chinois : Weiny Cauhape

Espagnol : Francisco Vicente-Sandoval

Français : Françoise Demir

Portugais : Ana Lúcia Guimarães

Russe : Irina Krivova

Photos : Eric Bouttier

Maquette : Baseline Arts Ltd, Oxford

Impression : UNESCO – CLD

Renseignements et droits de reproduction :

+ 33 (0)1 45 68 15 64 · k.markelova@unesco.org

Plateforme web : Fabienne Kouadio, Chakir Piro et Van Dung Pham

Remerciements à : Danica Bijeljic, Fabienne Dumur, Cathy Nolan, Michel Ravassard, Marie Renault, Susan Schneegans et Fan Xiao

Les articles peuvent être reproduits à condition d'être accompagnés du nom de l'auteur et de la mention « Reproduit du Courrier de l'UNESCO », en précisant la date.

Les articles expriment l'opinion de leurs auteurs et pas nécessairement celle de l'UNESCO.

Les photos appartenant à l'UNESCO peuvent être reproduites avec la mention © Unesco suivie du nom du photographe. Pour obtenir les hautes définitions, s'adresser à la photobanque : photobank@unesco.org

Les frontières sur les cartes n'impliquent pas la reconnaissance officielle par l'UNESCO ou les Nations Unies, de même que les dénominations de pays ou de territoires mentionnés.



🔗 **Fibres de cristaux de baryte.** La baryte est principalement utilisée dans l'industrie pétrolière, mais aussi dans la médecine (radiographies du tube digestif) et dans le bâtiment (béton lourd anti-radiations). © SPL



Éditorial – Irina Bokova, Directrice générale de l'UNESCO 5

DOSSIER : LA CHIMIE ET LA VIE

La chimie : science et art de la matière – Jean-Marie Lehn 7

La chimie, c'est toute une histoire 10

Les ancêtres de la chimie – Michal Meyer 11

Les malheurs d'un alchimiste trop matérialiste
Tayra M.C. Lanuza-Navarro 13

La chimie sur le terrain 17

Le fil rouge de ma carrière, c'est la lumière
Entretien avec Tebello Nyokong par Cathy Nolan 18

Veiller sur la santé du pays – Bhagwan Singh Chandravanshi 21

Le métal et le végétal : un pacte contre le cancer – Anlong Xu 22

De la primauté de la nature – Vanderlan da Silva Bolzani 24

Le boom pharmaceutique indien
Entretien avec Sunil Mani par Shiraz Sidhva 25

Les bienfaits des algues – Vicki Gardiner 28

La chimie fait peau neuve 29

Comment désamorcer les bombes aérosols
Jes Andersen rencontre Ole John Nielsen 30

Réchauffement climatique : le Plan B
Le fer contre l'anémie de la mer – Philip W. Boyd 32
Arbres synthétiques – Katerina Markelova rencontre Klaus Lackner 33
Vénus à la rescousse – Jasmina Šopova 34

Du noir au vert – Jens Lubbaddeh 35

Lettre à un jeune chimiste
Entretien avec Akira Suzuki par Noriyuki Yoshida 39

Chimistes en herbe autour du globe 42

Étudier la chimie en Éthiopie – Shimalis Admassie 44

POST-SCRIPTUM

Sciences sans frontières – Susan Schneegans 46

L'UNESCO et le CERN : une histoire d'atomes crochus
Jasmina Šopova rencontre Rolf-Dieter Heuer 48

Passeurs de cultures – Stephen Humphreys 51

La seconde vie de Touki Bouki
Entretien avec Souleymane Cissé par Gabrielle Lorne 53



🔗 Tuyauterie sous vide, autrefois utilisée pour la synthèse en phase gazeuse. Pièce de la collection historique de l'Université de Copenhague (Danemark). © Mikal Schlosser

Dans ce numéro

En 1932, le médecin allemand Gerhard Domagk confirma les effets anti-bactériens d'un nouveau colorant mis au point par la société IG Farben. Sept ans plus tard, le Prontosil lui valut le prix Nobel, mais le régime nazi l'obligea de le refuser. Aujourd'hui, la Sud-Africaine Tebello Nyokong conçoit de nouveaux remèdes contre le cancer avec des molécules habituellement utilisées comme teintures pour les blue-jeans. Loin d'être anecdotiques, ces découvertes font date dans l'évolution d'une science haute en couleurs : la chimie. Les articles proposés dans cette nouvelle livraison du *Courrier de l'UNESCO* permettront à chacun de se faire une idée plus complète de ses avancées.

La chimie est si présente dans notre vie qu'elle passe souvent inaperçue, rappelle Jean-Marie Lehn, lauréat français du prix Nobel de chimie 1987. « Un monde privé de chimie », note-t-il dans son article introductif, « serait un monde sans matériaux de synthèse, donc sans téléphone, sans ordinateur, sans cinéma [...] sans aspirine, sans savon, sans shampoing, sans dentifrice, sans cosmétiques, sans pilules contraceptives, sans papier donc sans journaux ni livres, sans colles, sans peintures » (p. 8).

Après avoir retracé l'histoire de la chimie « née le jour où nos ancêtres sont sortis de l'animalité » (pp. 11-16), nous nous intéressons à ses applications, notamment sur le terrain médical. Une occasion de s'interroger sur les interactions entre nature,

recherche et industrie, aussi bien en Afrique du Sud qu'en Australie, en passant par le Brésil, la Chine, l'Éthiopie et l'Inde (pp. 17-28).

Il faut le reconnaître, la chimie est une science à tête de Janus : une face incarne les bienfaits prodigués à l'humanité ; l'autre, les méfaits de la pollution. La catastrophe qui a frappé la Hongrie en octobre dernier a tiré une fois de plus la sonnette d'alarme (p. 35). Raison de plus pour se pencher sur les solutions que la chimie apporte à la pollution qu'elle provoque. Là encore, nous traversons la Chine, l'Europe, les États-Unis et la Nouvelle-Zélande, pour découvrir, notamment avec Philip W. Boyd et Klaus Lackner, les tentatives de combattre le réchauffement climatique (pp. 32-33).

Signe encourageant, les industries « agissent maintenant de façon beaucoup plus responsable » (p. 31), comme le souligne le Danois Ole John Nielsen, membre du GIEC. La chimie est en train de devenir cette science nouvelle qu'Akira Suzuki, prix Nobel japonais de chimie 2010, appelle de ses vœux (pp. 39-41). Les jeunes générations de chimistes sauront sans doute la conduire à bon port (pp. 42-43).

En complément au dossier, ce numéro du *Courrier* donne un aperçu du Rapport de l'UNESCO sur la science 2010, commémore l'anniversaire de la naissance du CERN et se tourne vers la culture, à l'occasion de la clôture de l'Année internationale du rapprochement des cultures 2010. – **Jasmina Šopova**



Éditorial

Irina Bokova

Notre compréhension du monde matériel dépend de notre connaissance de la chimie, et de notre capacité à en maîtriser les découvertes. Les éléments chimiques sont au cœur de toute matière connue. Ils interviennent dans tous les processus vivants. Nous devons à la chimie moderne la plupart des avancées thérapeutiques, des progrès alimentaires et technologiques réalisés au 20^e siècle. Cette science a révolutionné la fabrication des médicaments, des vêtements, des cosmétiques, mais aussi la diffusion de l'énergie et la production d'appareils technologiques. Omniprésente dans notre vie quotidienne, il est essentiel de mieux la connaître, pour mieux l'utiliser.

À l'initiative de l'Éthiopie, les Nations Unies ont déclaré 2011 Année internationale de la chimie (AIC 2011) et confié son organisation à l'UNESCO. C'est un moment privilégié pour mieux faire connaître cette science et sa contribution dans la compréhension, le contrôle et la transformation de la matière. C'est aussi une occasion pour l'UNESCO de redoubler d'efforts dans les domaines qui sont les siens : la coopération et la diplomatie scientifiques, le renforcement des capacités de recherche des États, l'éducation scientifique de qualité pour

tous, dont la chimie est un aspect essentiel. Célébrant l'année du centenaire de l'attribution du prix Nobel de chimie à Marie Curie, l'AIC 2011 nous offre également un cadre idéal pour rendre hommage et promouvoir la contribution des femmes à la science. Hommage que nous rendons dès le jour du lancement de l'Année, avec la venue au Siège de l'UNESCO de la scientifique Hélène Langevin-Joliot, petite-fille de Marie Curie et fille d'Irène Joliot-Curie, pour une conférence sur le rôle des femmes en Chimie.

Le dernier Rapport mondial sur la science, publié par l'UNESCO en novembre 2010, a montré l'importance de la science et de la diplomatie scientifique au service de la paix et du développement. La recherche fondamentale sur les composants de la matière requiert des moyens colossaux et la participation de très nombreux chercheurs à travers le monde. Elle appelle nécessairement au renforcement de la coopération internationale et à une meilleure répartition des moyens de recherche à l'échelle du globe. L'UNESCO s'y emploie grâce à des initiatives comme le centre de recherche SESAME au Moyen-Orient, dont la chimie est une composante majeure.

C'est un moment privilégié pour mieux faire connaître cette science et sa contribution dans la compréhension, le contrôle et la transformation de la matière.

⇒ Irina Bokova, Directrice générale de l'UNESCO, et l'astrophysicien canadien Hubert Reeves, lors de sa conférence sur le déclin de la biodiversité, au siège de l'Organisation, le 3 novembre 2009.

© UNESCO/M. Ravassard



La quasi absence d'une « culture générale chimique », comparée à la culture astronomique ou mathématique, bloque l'accès des individus à des réalités qui nous affectent au quotidien et freine notre capacité collective à en être partie prenante.

La chimie de demain doit d'abord être une science responsable. Il est certain qu'elle jouera un rôle de premier plan dans le développement des énergies de substitution et d'alimentation pour une population mondiale croissante. Les découvertes de la chimie peuvent aider à relever les défis du changement climatique mondial : sans chimie, pas de panneaux solaires, pas de biocarburants... Elles peuvent aussi faciliter l'accès à des sources d'eau non polluée. Lancée dans le prolongement de l'Année internationale de la biodiversité (2010), l'Année internationale de la chimie prend tout son sens dans le cadre de la Décennie des Nations Unies pour l'éducation en vue du développement durable (2005-2014).

La chimie de demain doit aussi être une science partagée. La quasi absence d'une « culture générale chimique », comparée à la culture astronomique ou mathématique, bloque l'accès des individus à des réalités qui nous affectent au quotidien et freine notre capacité collective à en être partie prenante. Cette méconnaissance encourage aussi sa relative diabolisation auprès du grand public qui la considère souvent comme polluante ou nocive. Il faut améliorer et accélérer son enseignement, former aujourd'hui les chimistes de demain et

donner à tous, partout dans le monde, la possibilité de comprendre les processus chimiques et d'en mesurer l'impact. L'intérêt pour cette science passionnante est une ressource pour le développement. À nous tous d'en faire bon usage.

Afin d'attiser la curiosité des jeunes, l'UNESCO et l'Union internationale de la chimie pure et appliquée – son partenaire principal dans l'organisation de l'AIC 2011, qui célèbre cette année son 100e anniversaire – lancent une expérience d'envergure mondiale, unique en son genre, pour aider les élèves à mieux connaître notre ressource la plus précieuse : l'eau. Partout dans le monde, des écoles réaliseront des tests de qualité et de purification de l'eau et pourront partager leurs résultats.

La meilleure compréhension des découvertes de la science en général et de la chimie en particulier est une priorité des années à venir. En qualité d'Agence spécialisée des Nations Unies dans le domaine de l'éducation, des sciences et de la culture, l'UNESCO mettra tout en œuvre pour y parvenir. Il y va de notre capacité collective à prendre des décisions pleinement informées, pour agir sur le monde de façon responsable. ■

PRIX NOBEL DE CHIMIE AU FÉMININ : UN BIEN MAIGRE BILAN

La première femme récompensée par le prix Nobel de chimie a été Marie Curie. C'était il y a cent ans. Depuis, la liste des lauréates chimistes ne s'est guère enrichie. Seuls trois autres noms s'y sont ajoutés : Irène Joliot-Curie, Dorothy Mary Crowfoot Hodgkin et Ada Yonath.

Depuis sa création en 1901, le prix Nobel a été décerné, tous domaines confondus, à 40 femmes¹, dont deux fois à Marie Curie. Née à Varsovie (Pologne) en 1867, Maria Skłodowska, épouse Curie, obtient en 1903 le prix Nobel de physique (également décerné à Pierre Curie et Henri Becquerelle), avant d'être récompensée en 1911 « pour les services rendus à l'avancement de la chimie par sa découverte des éléments radium et polonium ».

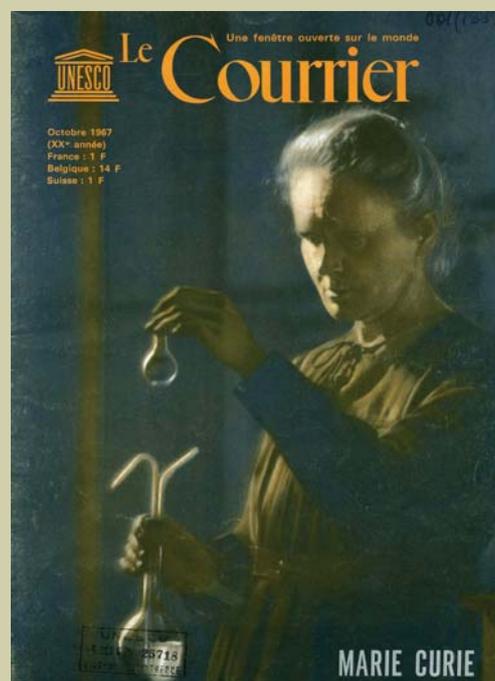
En 1935, ce c'est au tour de sa fille Irène de partager ce prestigieux prix avec son époux Frédéric Joliot-Curie, « en reconnaissance de leurs synthèses de nouveaux éléments radioactifs ».

Il faudra attendre quasiment trois décennies pour qu'une autre femme attire l'attention de l'Académie royale des sciences de Suède : en 1964, Dorothy Mary Crowfoot Hodgkin, du Royaume-Uni, est récompensée « pour la détermination par les techniques des rayons X de la structure d'importantes substances biologiques ».

Enfin, 45 ans plus tard, l'Israélienne Ada Yonath partage le prix Nobel de chimie avec l'Indien Venkaterman Ramakrishnan et l'Américain Thomas Steitz, « pour leurs études de la structure et de la fonction du ribosome ». Un an plus tôt, Ada Yonath recevait le Prix L'Oréal-UNESCO pour les femmes et la science 2008.

Lancé par l'ORÉAL et l'UNESCO en 1998, le Programme pour les femmes et la science soutient les femmes qui se sont engagées dans la recherche scientifique, désignant chaque année une lauréate par continent. Par ailleurs, 15 bourses internationales sont allouées chaque année, depuis 2000, à de jeunes chercheuses dont les projets ont été acceptés par des laboratoires de renom, en dehors de leur pays d'origine.

J.Š.



En 1967, Le Courrier de l'UNESCO a consacré un numéro à Marie Curie.

© UNESCO

1. Chimie, 4 ; physique, 2 ; médecine, 10 ; littérature, 12 ; paix, 12.



La chimie : science et art de la matière

📌 La chimie est à l'origine de la vie.

Dessin original de Sejung Kim, République de Corée.
© Sejung Kim

Jean-Marie Lehn

La chimie est une science dont le but n'est pas seulement la découverte, mais aussi et surtout la création. En cela, elle est un art de la complexification de la matière. Pour saisir la logique des dernières évolutions de la chimie, il faut faire un saut en arrière dans le temps de quelque quatre milliards d'années.

La chimie joue un rôle central dans notre vie quotidienne, tant par sa place au sein des sciences de la nature et de la connaissance, que par son importance économique et son omniprésence. À force d'être présente partout, on l'oublie souvent, et elle risque de n'être signalée nulle part. Elle ne se donne pas en spectacle mais, sans elle, les réalisations que l'on

s'accorde à trouver spectaculaires ne pourraient voir le jour : exploits thérapeutiques, prouesses spatiales, merveilles de la technique, etc. Elle contribue de façon déterminante aux besoins de l'humanité en nourriture et médicaments, vêtements et habitations, énergie et matières premières, transports et communications. Elle fournit des matériaux à la physique et à

« *Rêver tout haut
sa recherche* »

Roland Barthes

l'industrie, des modèles et des substrats à la biologie et à la pharmacologie, des propriétés et des procédés aux sciences et aux techniques.

Un monde privé de chimie serait un monde sans matériaux synthétiques, donc sans téléphone, sans ordinateur, sans cinéma, sans tissus synthétiques. Ce serait aussi un monde sans aspirine, sans savon, sans shampoing, sans dentifrice, sans cosmétiques, sans pilules contraceptives, sans papier donc sans journaux ni livres, sans colles, sans peintures.

Ayons garde de ne pas oublier que la chimie aide les historiens de l'art à percer certains des secrets de fabrication des tableaux et des sculptures que l'on admire dans les musées, qu'elle permet aux limiers de la police scientifique d'analyser les prélèvements effectués sur les scènes de crime et de remonter plus rapidement jusqu'aux coupables, et qu'elle dévoile les subtilités moléculaires des plats qui ensorcellent nos papilles.

Aux côtés de la physique qui déchiffre les lois de l'Univers et de la biologie qui décode les règles du vivant, la chimie est la science de la matière et de ses transformations. La vie est son expression la plus haute. Elle joue un rôle primordial dans notre compréhension des phénomènes matériels, dans notre capacité d'agir sur eux, de les modifier, de les contrôler.

Depuis bientôt deux siècles, la chimie moléculaire a édifié un vaste ensemble de molécules et de matériaux de plus en plus sophistiqués. De la synthèse de l'urée en 1828 (qui provoqua une véritable révolution, en apportant la preuve qu'il était possible d'obtenir une molécule « organique » en utilisant un composé minéral) à l'achèvement, dans les années 1970, de la synthèse de la vitamine B12, cette discipline n'a cessé d'affirmer son pouvoir sur la structure et la transformation de la matière.

La molécule vue comme un cheval de Troie

Par-delà la chimie moléculaire s'étend l'immense domaine de la chimie dite supramoléculaire, qui s'intéresse non pas à ce qui se passe *dans* les molécules, mais à ce qui se trame *entre* elles. Son objectif est de comprendre et de contrôler la façon dont les molécules interagissent les unes avec les autres, se transforment, s'accrochent, ignorant d'autres partenaires. Emil Fischer [prix Nobel allemand de chimie 1902] utilisait l'image de la clé et de la serrure. Aujourd'hui, nous parlons de « reconnaissance moléculaire ».

C'est dans le domaine biologique que le rôle de ces interactions moléculaires est le plus frappant : des unités protéiniques s'assemblent pour former l'hémoglobine ; les globules blancs reconnaissent et détruisent les corps étrangers ; le virus du sida trouve sa cible pour l'investir ; le code génétique se transmet par l'écriture et la lecture de l'alphabet des bases protéiniques, etc.

Prenons l'exemple très parlant de l'« auto-organisation » du virus de la mosaïque du tabac : pas moins de 2 130 protéines simples s'assemblent pour former une tour hélicoïdale.

L'efficacité et l'élégance de ces phénomènes naturels sont si fascinantes pour un chimiste, qu'il est tenté de les reproduire ou d'inventer des processus nouveaux permettant de créer des architectures moléculaires nouvelles aux applications multiples. Pourquoi ne pas imaginer des molécules capables de transporter au cœur d'une cible choisie un fragment d'ADN destiné à la thérapie génique, par exemple ? Ces molécules seraient des « chevaux de Troie » qui feraient franchir à leur passager des barrières réputées infranchissables, comme les membranes cellulaires.

De très nombreux chercheurs à travers le monde construisent, patiemment, « sur mesure », des structures supramoléculaires. Ils observent comment les molécules, mélangées sans ordre apparent, se retrouvent d'elles-mêmes, se reconnaissent puis, progressivement s'assemblent, pour conduire de façon spontanée mais parfaitement contrôlée à l'édifice supramoléculaire final.

« Là où la nature cesse de produire ses propres espèces, l'homme commence, en utilisant les choses naturelles et avec l'aide de cette nature même, à créer une infinité d'espèces... » – Léonard de Vinci

Ainsi, inspirée par les phénomènes que la nature nous présente, l'idée a germé de susciter et de piloter l'apparition d'assemblages supramoléculaires, autrement dit de faire de la « programmation moléculaire ». Le chimiste conçoit des briques de base (des molécules douées de certaines propriétés structurales et interactionnelles), puis met en oeuvre le « ciment » (le code d'assemblage) chargé de les lier. Il obtient ainsi une superstructure par auto-organisation. La synthèse des briques moléculaires capables de s'auto-organiser est beaucoup plus simple que ne le serait la synthèse de l'édifice final. Cette piste de recherche ouvre de vastes perspectives en particulier dans le domaine des nanotechnologies : au lieu de fabriquer des nanostructures, on laisse les nanostructures se fabriquer elles-mêmes par auto-organisation, passant ainsi de la fabrication à l'auto-fabrication.

Plus récemment encore a émergé une chimie dite adaptative où le système, pour se construire, effectue lui-même une sélection parmi les briques disponibles, et devient capable d'adapter la constitution de ses objets en réponse aux sollicitations du milieu. Cette chimie, que j'appelle « chimie constitutionnelle dynamique », affiche ainsi une coloration darwinienne !





De la matière à la vie

Au commencement fut l'explosion originelle, le Big Bang, et la physique régna. Puis vint la chimie, aux températures plus clémentes. Les particules formèrent des atomes, lesquels s'unirent pour produire des molécules de plus en plus complexes qui, à leur tour, s'associèrent en agrégats et en membranes, donnant ainsi naissance aux premières cellules d'où émergea la vie sur notre planète, voilà quelque 3,8 milliards d'années.

De la matière divisée à la matière condensée puis organisée, vivante et pensante, le déploiement de l'Univers nourrit l'évolution de la matière vers un accroissement de complexité par auto-organisation sous la pression de l'information. La tâche de la chimie est de révéler les voies de l'auto-organisation et de tracer les chemins menant de la matière inerte, par une évolution prébiotique purement chimique, à la césure de la vie, et par-delà à la matière vivante puis pensante. Elle fournit ainsi des moyens d'interroger le passé, d'explorer le présent et de jeter des ponts vers le futur.

Par son objet (la molécule et le matériau), la chimie exprime sa puissance créatrice, son pouvoir de produire des molécules et des matériaux nouveaux – nouveaux car n'ayant pas existé avant d'être créés par recombinaison des agencements des atomes en combinaisons et structures inédites et infiniment variées. Par la plasticité des formes et des fonctions de l'objet chimique, la chimie n'est pas sans analogie avec l'art. Comme l'artiste, le chimiste imprime dans la matière les produits de son imagination. La pierre, les sons et les mots ne contiennent pas l'œuvre que le sculpteur, le compositeur et l'écrivain en modèlent. De la même manière, le chimiste crée des molécules originales, des matériaux nouveaux et des propriétés inédites à partir des éléments qui composent la matière.

Le propre de la chimie n'est pas de découvrir seulement, mais d'inventer et, surtout, de créer. Le Livre de la chimie n'est pas seulement à lire, il est à écrire. La partition de la chimie n'est pas seulement à jouer, mais à composer. ■

Jean-Marie Lehn, spécialiste en chimie supramoléculaire, est lauréat du prix Nobel de chimie en 1987, avec Donald Cram et Charles Pedersen. Professeur émérite à l'Université de Strasbourg, professeur honoraire au Collège de France et membre de l'Académie des sciences, Jean-Marie Lehn a créé l'Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaires (ISIS) de Strasbourg. www-isis.u-strasbg.fr/

🔍 **Withérite en cristaux.** Le cristal permet d'élucider les relations entre les propriétés, la composition chimique et l'arrangement des atomes dans les matériaux. Les chimistes « cultivent » des cristaux, pour les étudier, les visualiser et en imaginer de nouveaux. Cela leur permet de découvrir de nouveaux matériaux aux applications multiples. © SPL

La chimie, c'est toute une histoire

Un peu comme Monsieur Jourdain faisait de la prose sans le savoir, nous faisons de la chimie sans en être obligatoirement conscients. Depuis l'aube des temps, tous les êtres vivants, y compris les animaux et les plantes, fabriquent par le biais de réactions chimiques les composés organiques nécessaires à la vie. Puis, l'intuition aidant, nos ancêtres ont inventé des décoctions, des colorants, des alliages. Ils ont extrait de la nature des élixirs, des arômes, des médicaments. Le fer au Niger, le tapirage chez les Amérindiens, le papier en Chine sont autant de preuves des transformations, parfois drastiques, que l'homme a fait subir à la matière avant de connaître les lois de la chimie. Il a employé des méthodes de plus en plus sophistiquées, certes parfois abracadabrantes, mais toujours inspirées par la nature, jusqu'à ce qu'au 18^e siècle naisse la chimie moderne.

Gravure représentant la pompe à air de Boyle, tirée de New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air, and Its Effects, 1660.

© Avec l'aimable autorisation de Roy G. Neville Historical Chemical Library (Chemical Heritage Foundation)



Les ancêtres de la chimie

Michal Meyer

La chimie est née le jour où nos ancêtres sont sortis de l'animalité. Être homme, c'est transformer la matière.

À l'orée du 18^e siècle, Auguste le Fort, électeur de Saxe et roi de Pologne, enferma Johann Friedrich Böttger dans son laboratoire, lui ordonnant de fabriquer de l'or. Le jeune alchimiste échoua dans la commande royale, mais contribua à la création d'une substance bien plus belle et plus utile : la porcelaine. Et comme dans les contes qui finissent bien, cela plut au roi. Car le monde n'était plus féodal, on entrait dans la société de consommation, et c'était à grands frais qu'on devait alors importer la précieuse denrée depuis la Chine, plus avancée techniquement, pour nourrir en Europe un appétit croissant de beauté et de luxe. On s'arracha bientôt la nouvelle porcelaine de Meissen, le roi s'enrichit et éleva Böttger, en signe de reconnaissance, de simple préparateur en pharmacie au rang de baron.

Autre anecdote, moins élégante. Nous sommes à Hambourg, aux alentours de 1669 : Hennig Brandt pense avoir enfin découvert la fameuse pierre philosophale, celle qui change le plomb en or et révèle les secrets du cosmos. Ancien soldat, Brandt sait fabriquer le verre. Il a pris un peu d'urine, l'a mise à bouillir et a fait chauffer les résidus jusqu'à ce que des vapeurs lumineuses – le phosphore blanc réagissant au contact de l'oxygène – emplissent sa cornue. Quelques années plus tard, Brandt ayant vendu son secret, le phosphore était assez connu pour qu'Isaac Newton, qui s'adonnait à l'alchimie en cachette, puisse en livrer la recette en commençant par ces termes : « Procurez-vous un tonneau d'urine ». Ingrédient difficile à trouver, comme chacun sait.

 Eau forte de James Gillray, représentant une vision satirique d'une conférence publique donnée à l'Institut royal de Londres, au début du 19^e siècle.

© Avec l'aimable autorisation de Chemical Heritage Foundation Collections
Photo : Gregory Tobias



De l'urine à l'art... autre transformation : à la fin du 18^e siècle, voici l'illumination de Brandt immortalisée dans un tableau de Joseph Wright of Derby, puis de nouveau sur une gravure de William Pether de 1775 sous ce titre retentissant : « La découverte du phosphore ». On y voit l'alchimiste en extase devant l'éblouissante merveille. Bien des années plus tard, en 1943, la ville natale de Brandt sera la proie des flammes, frappée par des centaines de kilos de phosphore sous forme de bombes : nouvelle transformation.

Le cru et le cuit

L'argile en porcelaine, l'urine en phosphore, le phosphore en bombes, la farine en pain, le raisin

en vin, les minéraux en pigments... Pour ce qui est de transformer la matière, nos possibilités sont à peu près illimitées. Le primatologue britannique Richard Wrangham pense même que c'est la cuisine qui a fait de nous des hommes, en fournissant le surcroît d'énergie nécessaire à la croissance de nos cerveaux. On pourrait donc dire que la chimie est née le jour où nos ancêtres sont sortis de l'animalité. *Homo chemicus* : être homme, c'est transformer la matière. Mais comme nous sommes humains, ces transformations révèlent aussi ce qu'il y a de meilleur en nous – et ce qu'il y a de pire.

S'il nous est impossible de remonter à ce premier instant de la chimie où le cru se

🔗 *Un alchimiste présente de l'or liquide à la cour, provoquant la stupéfaction. Transformer le plomb en or est un rêve qui a persisté jusqu'au 18^e siècle.*

© Avec l'aimable autorisation de Chemical Heritage Foundation Collections
Photo : Gregory Tobias

LE CRAPAUD ET LE PERROQUET

« Les Achagua du haut Meta connaissent des procédés qui leur permettent de faire pousser sur leurs perroquets des plumes de diverses couleurs, augmentant ainsi leur valeur et leur prix, soit pour les vendre, soit pour les utiliser dans leurs fêtes. Ils obtiennent ce résultat de la façon suivante : ils attrapent un crapaud vivant qu'ils piquent à plusieurs reprises avec une épine jusqu'à ce que le sang lui sorte. Ils le mettent ensuite dans un pot et couvrent ses blessures avec du poivre et du piment moulu. L'animal, qu'une si cruelle médecine rend enragé, distille peu à peu ce qu'il y a de plus actif dans ses humeurs qui se mêlent au poison et au sang. Ils ajoutent à cela certaine poussière rouge qu'ils appellent *chica* et, en mélangeant ces ingrédients extraordinaires, ils font un vernis. Ils arrachent ensuite les plumes du perroquet et l'oignent de ce vernis en l'introduisant avec la pointe d'un bâton

dans les trous que les plumes laissent dans la peau. Le perroquet ne laisse pas d'en souffrir, car il reste pendant plusieurs jours comme une poule mal en point, tout chiffonné et triste. Après quelque temps, il reprend ses plumes. Elles sont devenues alors si splendides et si belles que c'est un sujet d'admiration que de voir la beauté et l'élégance avec lesquelles elles ont poussé. On remarque alors sur elles des taches rouges sur fond jaune qui se détachent avec une admirable variété parmi les plumes vertes. »

Nous devons cette description pittoresque du tapirage pratiqué par un peuple indigène de la Colombie au jésuite espagnol Juan Rivero (*Historia de las misiones de los llanos de Casanare y los Ríos Orinoco y*

Meta, rédigée en 1728 et publiée en 1883). Elle est citée par Alfred Métraux, anthropologue américain d'origine suisse et ancien fonctionnaire de l'UNESCO, dans son article « Une découverte biologique des Indiens de l'Amérique du Sud : la décoloration artificielle des plumes sur les oiseaux vivants. » (*Journal de la Société des Américanistes*. Tome 20, 1928. pp. 181-192.)

« En prélevant sur [les oiseaux] qu'ils élèvent les plumes dont ils ont besoin, les Indiens s'épargnent les fatigues de la chasse et le risque de les endommager en les tuant à coups de flèches », affirme

l'anthropologue, qui attribue la diffusion du tapirage en Amazonie aux peuples arawak, dont la migration aurait commencé voici quelque trois millénaires. – J.S.



© DR

transforma en cuit, nous sommes mieux renseignés sur les hommes préhistoriques et leur aspiration au beau. Au Centre de recherche et de restauration des musées de France, Philippe Walter se passionne pour les procédés et les substances chimiques de l'Antiquité et de la préhistoire. Selon lui, nos ancêtres ne savaient pas pourquoi ni comment leur chimie opérait, mais n'en étaient pas moins capables de marier les ingrédients naturels pour produire des pigments, que ce soit pour se parer eux-mêmes ou décorer les parois des grottes. Il y a 4 000 ans, nous dit Walter, les Égyptiens ont synthétisé de nouvelles substances pour soigner les maladies de l'œil. Stimulateurs du système immunitaire, leurs cosmétiques à base de plomb – souvenez-vous de Cléopâtre et de son kohl [voir p.15] – ont été parmi les premiers produits de santé et de beauté du monde.

Al-kimiya

L'Égypte hellénistique nomma *chemia* le raffinage des métaux. Dès l'avènement de l'Islam, les érudits musulmans s'attelèrent à la traduction des textes grecs, dont des ouvrages de *chemia*, qu'ils appelèrent *al-kimiya*. Comment transformer la matière, purifier les substances, colorer les métaux, tout cela était *al-kimiya*. Cette fascination conduisit aussi au perfectionnement des techniques, comme la distillation ou la cristallisation, toujours essentielles à nos laboratoires du 21^e siècle. Sur un plan plus théorique, les savants musulmans enrichirent les conceptions grecques de la matière – les quatre

Les malheurs d'un alchimiste trop matérialiste

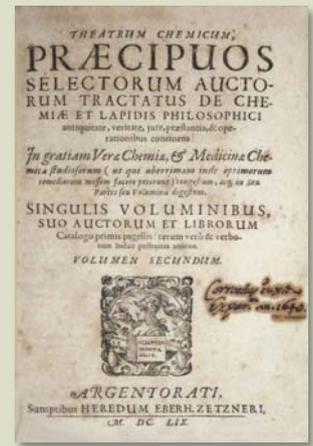
En 1603, cela faisait 33 ans que Giraldo Paris vivait à Madrid où il occupait la fonction de conseiller de Philippe II pour les affaires flamandes. Il avait grandi à Anvers et fait fortune dans le commerce des épices. Il accueillait à sa table tous les Flamands de la cour espagnole, s'entourant d'ambassadeurs et de dignitaires, mais aussi de pharmaciens, médecins et savants. Depuis qu'il s'était retiré du commerce avec une immense fortune, Paris entretenait une passion pour l'alchimie. Il s'intéressait aux connaissances des lapidaires, des apothicaires, des distillateurs et des herboristes.

Cette année-là, des ennemis déclarés de Paris le dénoncèrent à l'Inquisition au prétexte d'hérésie. Lors du procès qui eut lieu en août, on déclara que le Flamand « extrayait des quintessences, des fleurs de métal et des sels d'herbes ». Par ailleurs on affirma qu'il était un grand philosophe de la nature, s'intéressant aux « secrets de l'art chimique ». Paris fut condamné à un an de réclusion dans un monastère et à payer une forte amende.

Racontée ainsi, son histoire paraît être celle d'un homme poursuivi par l'Inquisition espagnole en raison de ses activités d'alchimiste. Or, la réalité est plus complexe. Les distillations, les expériences avec les métaux, les extractions de substances végétales n'étaient pas ce qui préoccupait réellement les inquisiteurs qui l'ont jugé. Le motif de cette condamnation résidait dans les explications de certaines questions religieuses auxquelles se livrait notre alchimiste. Giraldo Paris avait, par exemple, expliqué la virginité de Sainte Marie en la comparant au procédé alchimique qui consiste à mélanger une matière pure à une autre, puis à retrouver, à la fin de l'opération, la première matière intacte « sans qu'elle n'ait perdu aucune vertu [...] immaculée comme elle l'était au départ ».

L'Inquisition s'en prit donc à Giraldo Paris non pour ses activités occultes mais pour ses « thèses erronées ». À cette époque Madrid abritait de nombreux alchimistes qui n'étaient pas persécutés pour leurs pratiques, mais il n'en reste pas moins que bon nombre de leurs ouvrages se retrouvaient sur les Index de livres interdits. Parmi ces derniers figurait aussi le *Theatrum Chemicum*, la compilation de savoirs alchimiques la plus complète du 17^e siècle en Europe. L'ouvrage était si important que l'Inquisition dut lever l'interdiction sur lui, mais ne manqua pas de l'expurger.

Jusqu'à preuve du contraire, l'Inquisition ne persécutait donc pas les alchimistes pour leurs actes mais pour leurs convictions sur les choses de la matière, qui étaient contraires au dogme.



Tayra M.C. Lanuza-Navarro

© Universitat de València. Photo : T. Lanuza 2010



Tayra M.C. Lanuza-Navarro est une historienne des sciences espagnole. Elle travaille actuellement à un projet sur les œuvres d'alchimie du début de l'ère moderne.

« La Pharmacie Rustique », 1775. Le fameux guérisseur suisse Michel Schuppach examine l'urine d'un patient dans sa pharmacie.

© Avec l'aimable autorisation de Chemical Heritage Foundation Collections
Photo : Gregory Tobias

Dans les laboratoires des alchimistes, on voyait fréquemment des alligators qui pendaient au plafond.

© Avec l'aimable autorisation de Chemical Heritage Foundation Collections



éléments que sont l'air, la terre, le feu et l'eau – et de son comportement, comme la transmutation d'un métal en un autre. Au 12^e siècle, l'*al-kimiya* gagna l'Europe, assortie de notions sur *al-iksir* (l'élixir ou la « pierre philosophale »).

Comme il se doit, l'alchimie se heurta à des écueils comparables à ceux qui empoisonnent encore la médecine : bonimenteurs de remèdes miracles, charlatans, etc. Et bien entendu, elle capta l'attention des gouvernants et des législateurs, mais pas pour les mêmes raisons. En Angleterre, on finit par décréter qu'il était illégal de *réussir* à changer le plomb en or, car cela en dépréciait la valeur !

Certains ont prétendu que puisque les manipulations humaines de la matière étaient par essence inférieures à ce que fait naturellement la nature (prémisse du débat qui se poursuit entre nature et artifice – mise à jour prévue au siècle prochain), toute tentative humaine de transmuter les métaux était vouée à l'échec. Malgré ces critiques, certains ont toujours cru que l'art humain était assez puissant pour transformer le monde. Mais ce n'étaient là que querelles de lettrés. Car la matière et ses avatars s'étaient faufiletés dans l'intervalle à travers toutes les strates de la société. Nul ne sait qui créa le kohl ou façonna le premier pot d'argile, qui le premier tanna le cuir

Chaque fois que nous faisons cuire un œuf, nous sommes, nous modifions la nature même de la matière, à savoir la forme des protéines de l'œuf.

« Un alchimiste au travail », du peintre flamand Mattheus van Helmont, 17^e siècle.

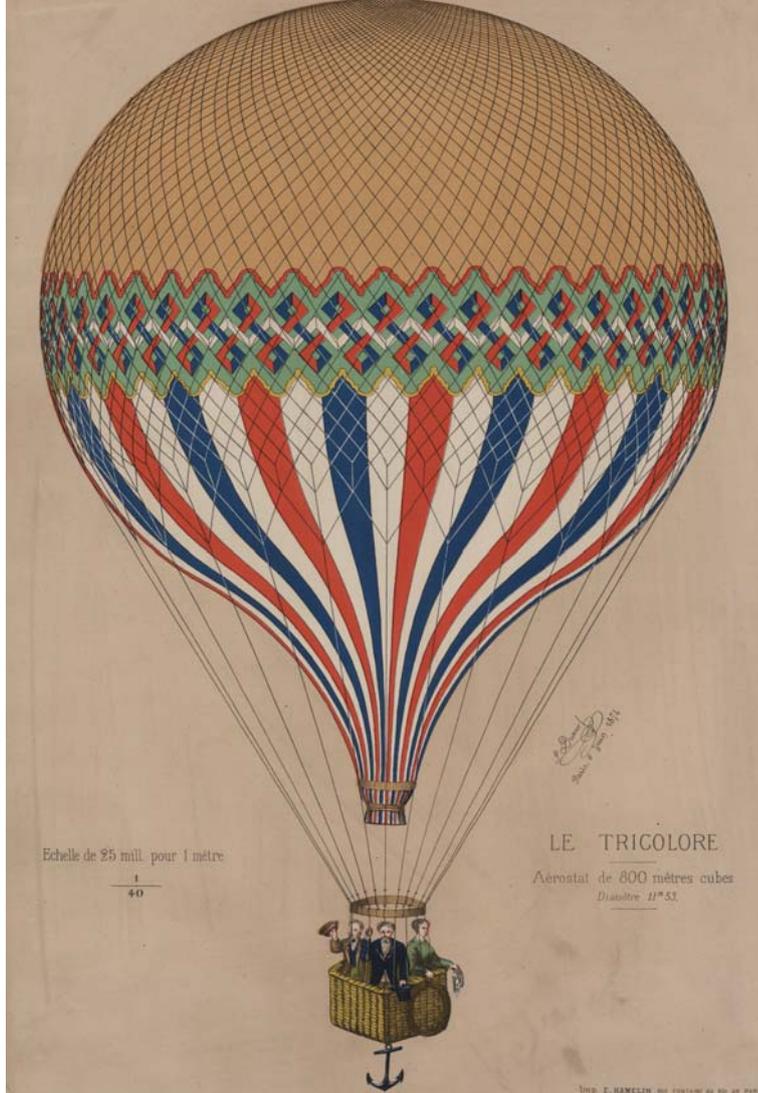
Figure de l'alchimiste incarnant la folie.

© Avec l'aimable autorisation de Chemical Heritage Foundation Collections
Photo : Will Brown

Portrait de Robert Boyle, peint par Johann Kerseboom, 1689 (Royaume-Uni).

© Avec l'aimable autorisation de Chemical Heritage Foundation Collections
Photo : Will Brown





ou brassa la bière, ni même qui, des artisans du Moyen-Âge, mêla le sable, la cendre de bois et les sels métalliques pour créer les merveilleux vitraux des cathédrales. Tous ont pourtant transformé la matière, et nos vies avec elle.

Avec les Temps modernes, les peintres et les orfèvres, et tous les artisans de la matière, virent grandir leur prestige. La science, qui avait longtemps servi à comprendre plus qu'à faire, et au profit des élites plus qu'à celui du commun des mortels, se tournait vers les fabricants en quête de connaissances et de pouvoir. Cette démarche, dont la matière restait l'enjeu, trouva son expression dans l'œuvre de Francis Bacon (*Novum Organum*, 1620) et l'émergence de la science moderne. La pratique – exploration tâtonnante et transformation du monde matériel – s'unissait à la compréhension, et notre univers artistique, scientifique ou quotidien, ne serait plus jamais le même. Le physicien et chimiste irlandais Robert Boyle, auteur de la célèbre loi reliant la pression, le volume et la température d'un gaz, est la parfaite illustration de cette nouvelle approche expérimentale. Héritier de la tradition alchimiste (par définition, ou presque, les alchimistes étaient hommes de l'expérience et de la mesure précise) et alchimiste en herbe, Boyle est considéré comme une figure fondatrice de la chimie moderne, au 17^e siècle.

📌 *La montgolfière française « Le tricolore », représentée au moment de son décollage, le 6 juin 1874, à Paris.*
© Library of congress
(Tissandier collection)

Une science haute en couleur

On pense souvent chez les chimistes que c'est au 18^e siècle que la chimie est devenue une science au plein sens du terme. Les recherches sur l'air d'Antoine Lavoisier (France), Joseph Priestley (Royaume-Uni) et sa découverte de l'oxygène, la création d'un langage scientifique de la chimie : tout cela y contribua. Mais la chimie, ou du moins ses résultats, ne pouvait rester cantonnée dans la sphère purement scientifique. En témoignent l'engouement pour le ballon à air chaud et à hydrogène à la fin du 18^e siècle et son influence sur le vêtement, les cartes à jouer et la céramique. Lorsque Priestley inventa l'eau gazeuse pour que le pauvre puisse lui aussi prendre les eaux pendant que le riche malade accédait aux onéreuses stations thermales, il ravivait le lien entre chimie et santé, né avec l'alchimie. Par contre, la mode victorienne du papier peint vert, arsenic oblige, fut sans doute le premier cas de risque environnemental reconnu et rapporté comme tel.

En 1856, un Anglais de dix-huit ans, William Henry Perkin, s'efforçait de transformer le coaltar en quinine pour prévenir la malaria (transmutation matérielle digne d'un alchimiste). Comme Böttger, il échoua et, en échouant, lança une révolution de la couleur, qui bien malgré lui contribua au lancement de l'industrie allemande de la teinture et des produits pharmaceutiques. À partir de l'aniline, Perkin créa le mauve, premier colorant synthétique qui allait égayer le monde dès les années 1860. Avant sa période noire, la reine Victoria porta cette nouvelle « chimie » et lança la mode de cette nuance de violet. L'Allemagne qui s'industrialisait à tout va s'empara aussitôt des anilines colorées, nouant incidemment le premier lien solide entre la chimie (en tant que science moderne) et l'industrie. En 1932, le médecin allemand Gerhard Domagk travaillant pour IG Farben découvrit qu'une teinture rouge modifiée tuait les bactéries, et c'est ainsi qu'entrèrent en usage les sulfamides, premiers antibiotiques. Encore une histoire de mode et de médecine,

CLÉOPÂTRE AUX YEUX DE PLOMB

Qui ne connaît pas l'eye-liner de Cléopâtre et le fard bleu de ses paupières ! Mais qui sait que ce maquillage était appliqué à des fins médicales, détail manquant dans les péplums ?

Une étude publiée dans la revue scientifique *Analytical Chemistry* (15 janvier 2010) montre que le maquillage des anciens Égyptiens contenait des sels de plomb qui produisaient du monoxyde d'azote. Ce composé chimique dilate les vaisseaux et ouvre ainsi la voie aux macrophages, autrement dit les cellules qui mangent des particules de grande taille. Bref, il renforce le système immunitaire de l'homme.

L'équipe française qui a travaillé sur le sujet a analysé des résidus trouvés dans les « trousseaux à maquillage » de la collection égyptienne du Louvre. La nanochimie aidant, elle a constaté que le contact du plomb, contenu en très faibles doses dans les cosmétiques antiques, et du liquide lacrymal créait un milieu offensif contre les micro-organismes. – **J.Š.**

Le tableau de Mendeleïev

« Le premier metteur en scène des éléments de la nature ». C'est ainsi que *Le Courier de l'UNESCO* de juin 1971 titrait un article consacré à Dmitri Mendeleïev, l'homme qui permit à « l'étude de la chimie [de] passer d'un stade quasi médiéval de tâtonnements à l'état d'une science moderne ».

Comment s'y prit-il ? « En bref », poursuit l'article, « le Russe proposait de disposer les éléments [chimiques] en lignes et en colonnes, aussi appelées périodes et groupes, à l'intérieur d'un rectangle, les poids atomiques croissant de gauche à droite le long d'une même ligne en commençant par celle du haut. Dans les colonnes verticales se retrouvaient les éléments possédant des propriétés analogues – la même façon de former un oxyde, par exemple. »

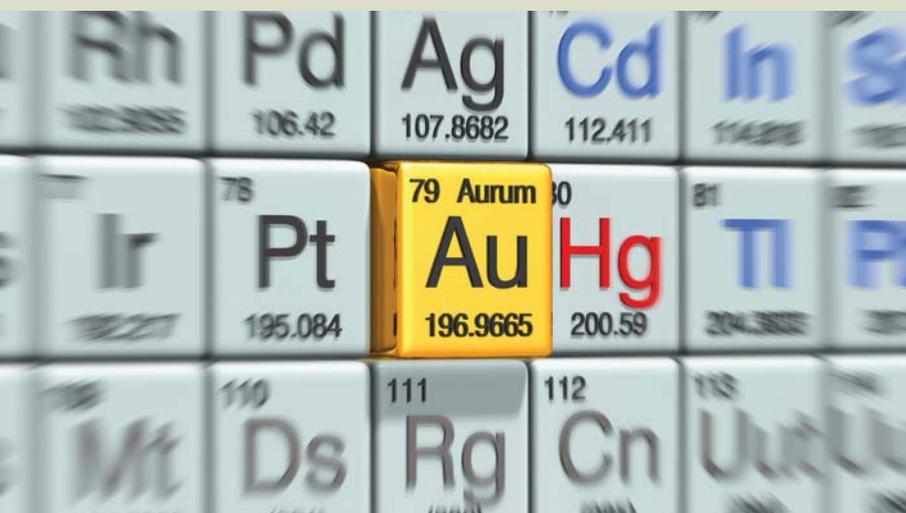
Qu'y a-t-il de si révolutionnaire dans ce tableau ? La théorie de la classification périodique des éléments selon leur poids atomique, que le Sibérien âgé de 35 ans avait présentée à la Société chimique de Russie, en mars 1869, représentait en fait la découverte d'une loi naturelle. Son procédé permettait non seulement de corriger bon nombre d'erreurs de calculs, mais aussi de prédire l'existence d'éléments jusqu'alors inconnus, comme le gallium, le scandium ou le germanium (appelés ainsi ultérieurement, en l'honneur des pays d'origine de leurs découvreurs).

Les grands découvreurs titillent l'imagination des gens. Comme on dit de Newton qu'il aurait découvert la loi de la gravitation en recevant une pomme sur la tête ou de James Watt qu'une marmite d'eau bouillante lui aurait inspiré l'idée de la machine à vapeur, certains prétendent que Mendeleïev aurait trouvé la classification périodique à la suite d'un rêve !

« On a tendance à oublier une chose », résume l'article : « s'il arrive que la vérité scientifique illumine l'esprit d'un homme de façon soudaine, comme un éclair, il se peut aussi que le même chercheur ait peiné pendant des années sur ce sujet. Pasteur l'a dit : 'La chance n'aide que les esprits déjà préparés'. Si l'on jette un œil sur les activités de Mendeleïev avant 1869, il apparaît évident que l'élaboration de la classification périodique n'a pas été un pur accident ».

Outre le tableau périodique, une phrase de Mendeleïev à propos du pétrole restera gravée dans la mémoire de l'humanité : « Ce matériel est trop précieux pour être brûlé ; quand nous brûlons du pétrole, nous brûlons de l'argent ; il faut l'utiliser comme matière première de la synthèse chimique ». – **K.M.**

© DR



puisqu'on voyait parfois rougir l'épiderme des patients, signe de l'efficacité du remède.

Elle eut beau plonger ses racines dans la mode, cette même industrie allemande de la chimie, après avoir repeint le monde de couleurs éclatantes, n'hésita pas à produire le zyklon, le gaz mortel des plans d'extermination nazis. À cause de la bombe, la Seconde Guerre mondiale est perçue comme la guerre des physiciens, mais chaque guerre est une guerre de chimistes depuis que les hommes savent fondre le métal. À la veille de la Seconde Guerre mondiale, la physicienne austro-suédoise Lise Meitner a donné raison aux alchimistes : nous pouvons transmuter un métal en un autre, ce qu'elle fit grâce à la réaction nucléaire. Avant la fin des hostilités, l'uranium 238 avait accouché du plutonium.

L'empreinte des alchimistes d'antan, leurs projets grandioses, leur mystère occasionnel, survivent aujourd'hui dans nos quêtes chimiques : création d'une vie synthétique, remède contre le vieillissement... Et dans le même temps, chaque fois que nous faisons cuire un œuf, tous autant que nous sommes, nous modifions la nature même de la matière, à savoir la forme des protéines de l'œuf.

L'essor de la science moderne, le prestige colossal dont elle jouit aujourd'hui – qui provient surtout de sa professionnalisation au 19^e siècle – ont mis les non-spécialistes à l'écart. Nous avons perdu ce sens de la chimie en tant qu'art et science du quotidien et des gens ordinaires. Il ne tient pourtant qu'à nous de le retrouver. Il y a peu, dans le cadre du programme muséographique de la *Chemical Heritage Foundation*, j'ai invité une artiste verrière à venir présenter son travail. D'abord inquiète, elle protesta qu'elle n'avait jamais étudié la chimie et ignorait tout de la question. Puis elle s'est mise à parler de ce qu'elle faisait : de ses outils, du four, de la manière dont elle maniait le verre en fusion, des métaux qu'elle ajoutait, du comportement du verre aux différentes températures, pour finalement se tourner vers moi, surprise : « Mais c'est de la chimie, ce que je fais ! », s'exclama-t-elle.

Vers le début de cet article, j'ai écrit qu'être homme, c'était transformer la matière. J'aimerais conclure en variant un peu : *transformer la matière, c'est être humain*. Nous sommes tous des chimistes. ■

Née en Israël, **Michal Meyer** a travaillé comme météorologue en Nouvelle-Zélande et aux Fidji, puis comme journaliste dans son pays natal. Titulaire d'un Ph.D. en histoire des sciences, elle est employée depuis septembre 2009 à la *Chemical Heritage Foundation*, dont elle dirige la revue, *Chemical Heritage* – www.chemheritage.org/discover/magazine/index.aspx

La chimie sur le terrain

Bien longue serait la liste exhaustive des services que la chimie moderne a rendus à l'humanité depuis sa naissance au 18^e siècle. Et tout aussi impressionnante celle des solutions qu'elle promet d'apporter aux problèmes qui se posent à notre planète en ce début de 21^e siècle, notamment dans le domaine de la santé. La chimie analytique repousse toujours plus loin les limites de détectabilité des substances toxiques. La nanochimie naissante fait des miracles, bien que les dangers qu'elle comporte ne soient pas encore surmontés. De nouvelles générations de médicaments offrent des traitements du cancer de plus en plus efficaces.

Nous vivons à l'ère de la chimie combinatoire, du criblage à haut débit et de l'ingénierie moléculaire et pourtant la nature demeure notre plus grand réservoir moléculaire. Quant aux savoirs ancestraux, ils sont loin d'être oubliés.

Le fil rouge de ma carrière, c'est la lumière

Quel lien y a-t-il entre les blue-jeans, le cancer et les pesticides ? A priori aucun. Et pourtant, à en croire le récit de Tebello Nyokong, ce serait la lumière. Cette spécialiste sud-africaine en nanochimie est une passionnée du laser. Elle lui trouve toutes sortes d'applications qui peuvent s'avérer révolutionnaires pour la médecine et l'environnement. Elle n'est pas loin du but.



TABELLO NYOKONG
répond aux
questions de Cathy
Nolan, UNESCO

Vous êtes actuellement impliquée dans la recherche d'une nouvelle méthodologie de diagnostic et de traitement du cancer appelée à offrir une alternative à la chimiothérapie. Pouvez-vous nous expliquer en quoi consiste votre travail ?

Nous les chimistes, nous sommes des créateurs. Mes recherches portent sur la création de molécules à usage pharmaceutique. Je développe des médicaments que nous appelons « teintures », car leurs molécules sont similaires à celles des teintures pour les jeans : les phtalocyanines. Ces médicaments sont utilisés dans la photochimiothérapie, traitement du cancer qui requiert une approche multidisciplinaire, associant chimistes, biologistes et spécialistes des biotechnologies. En tant que chimiste, je me trouve au cœur de cette entreprise, car je suis celle qui crée les molécules. Je travaille avec une grande équipe d'environ 30 personnes, sans compter tous ceux et toutes celles qui assurent les tests précliniques, un peu partout dans le monde.

Comment des molécules utilisées pour colorer les jeans peuvent-elle traiter le cancer ?

Examinez une plante : ses feuilles sont vertes à cause de la chlorophylle. Quant au sang, il doit sa couleur rouge à l'hémoglobine. En réalité, ces deux molécules sont quasiment identiques, à ceci près que la première est construite autour d'un atome de magnésium, alors que la seconde l'est autour d'un atome de fer. Une différence aussi minime suffit également à distinguer un médicament de ce qui n'en est pas un. La molécule qui teint les jeans est identique à la mienne, à une petite différence près : les métaux qu'elle contient ne sont pas les mêmes et ce sont eux qui permettent de réaliser l'une ou l'autre action.

La photochimiothérapie constitue-t-elle un traitement nouveau ?

Non, ce sont nos médicaments qui sont nouveaux. Aux États-Unis, en Europe et en Russie, la photochimiothérapie est déjà disponible pour certains cancers. Elle fonctionne avec de la lumière. Le médicament est introduit dans l'organisme puis activé par la lumière. Le problème est qu'à l'heure actuelle, les effets secondaires sont très importants. Le médicament doit être introduit dans l'organisme et rejoindre les tissus cancéreux. S'il se fixe sur des tissus sains, ce qui est le cas avec les médicaments actuellement disponibles, le patient est condamné à ne pas sortir de chez lui, car le rayonnement solaire détruirait les tissus sains, à l'instar de ce qui se produit en chimiothérapie.

Vos molécules sont-elles plus sûres ?

C'est là tout le but. Nous sommes en train de construire des molécules dont la spécificité est de cibler directement la tumeur. Ces médicaments présentent l'avantage d'absorber facilement la lumière. Il suffit donc d'administrer de très petites quantités. Mais je suis en train de faire un pas en avant, car j'associe à mon médicament un « système de livraison » inédit. C'est là que les nanotechnologies entrent en jeu. Les molécules contiennent des nanoparticules, appelées « points quantiques », qui pénètrent très facilement dans n'importe quelle partie du corps. Ces nanoparticules livrent très efficacement le médicament à la bonne adresse et en plus elles émettent de la lumière, ce qui facilite la localisation des cellules cancéreuses. Bref, c'est une merveille !

Ce traitement peut-il être utilisé contre toutes les formes de cancer ?

La lumière, utilisée pour activer le médicament, est produite par le laser et transportée par des fibres optiques. Si le cancer est généralisé, cela ne peut pas fonctionner. Le laser doit être dirigé précisément sur la zone cancéreuse. Il s'agit donc d'un traitement localisé, qui ne peut pas remplacer la chirurgie.

Comment avez-vous choisi ce domaine de recherche ?

De façon fortuite. C'est toute la beauté de la chimie ! Une fois pris au jeu des molécules, on se demande toujours : quel bénéfice pourrais-je encore en tirer ? Mais le fil rouge de ma carrière, c'est la lumière. Je me suis découvert une passion pour les lasers. Ils sont lumineux, colorés et ils vont droit au but ! Dès que j'ai eu affaire à eux, je leur ai trouvé de nouvelles applications. C'était extraordinaire. Ce qui m'intéressait au départ, c'était le laser, pas le cancer.

La nanochimie est-elle dangereuse ?

J'ai bien peur que oui. Et d'un, parce qu'un produit qui pénètre facilement dans n'importe quelle partie de l'organisme est par définition dangereux. Et de deux, parce qu'au centre des nanoparticules que nous avons pu fabriquer jusqu'ici se trouvent des métaux lourds. En cas de « fuite », ces nanoparticules peuvent se fixer à l'hémoglobine ou à d'autres parties de l'organisme, ce qui constitue une menace potentielle. Avec l'aide de biologistes, nous procédons à des tests de toxicité des molécules et nous efforçons de développer celles qui s'avèrent les moins toxiques. Nous étudions simultanément leurs applications et leur toxicité.

© Micheline Pelletier
pour L'Oréal Corporate
Foundation

En tant que chimiste, je peux développer des produits nouveaux, mais, s'agissant de vérifier leur fonctionnement, la collaboration avec d'autres spécialistes est indispensable.

Dans combien de temps vos médicaments pourront-ils se généraliser ?

Plusieurs variables sont à prendre en compte lorsque l'on envisage l'utilisation de ces médicaments sur l'homme. Les cancérologues trouvent que les lasers sont chers et difficiles à entretenir. Je ne peux rien faire toute seule. En tant que chimiste, je peux développer des produits nouveaux, mais, s'agissant de vérifier leur fonctionnement, la collaboration avec d'autres spécialistes est indispensable. En Afrique du Sud, le Centre pour la recherche scientifique et industrielle est en train de faire des tests précliniques de mes médicaments. En Suisse, une équipe a développé un test très intéressant sur des œufs embryonnaires : on injecte la teinture dans les veines autour de l'embryon et on évalue son activité.

Vos recherches ont également des applications pour l'environnement ?

Ces molécules sont vraiment magiques dans la mesure où elles sont susceptibles d'accomplir des choses très différentes les unes des autres. La méthode peut également être utilisée dans la purification de l'eau polluée, en particulier par des pesticides. Dans nos pays, les gens n'ont pas d'autre choix que d'aller chercher l'eau dans la nature. L'eau que l'on boit chez soi vient des champs. Il faut faire avec. De tout temps, la lumière a été utilisée pour purifier l'eau. On sait que la lumière détruit les bactéries, mais si l'on

met ces molécules dans l'eau, le processus s'accélère. De plus, les résultats qu'on obtient sont moins toxiques. Si on laisse faire la nature, c'est-à-dire le soleil, des molécules dangereuses pour l'organisme peuvent se former. En combinant ce produit chimique et la lumière, nous allons réussir à obtenir des produits qui ne sont plus du tout toxiques pour l'homme. Nous sommes très près du résultat et venons de faire breveter le procédé.

Votre but est-il de développer un produit industriel ?

C'est ma mission. Nous y arriverons plus rapidement du côté de la recherche contre la pollution, car pour les applications médicales, tout est plus compliqué et plus long, tant les règles à suivre sont nombreuses. Je veux réussir pour une autre raison aussi : montrer aux jeunes Sud-Africains qu'ils peuvent, eux aussi, faire de la science et développer des produits. Pour l'instant, ils ne se l'imaginent même pas ; ils pensent que tout vient de l'étranger.

Pensiez-vous dans votre enfance consacrer votre vie à la chimie ?

Même pas en rêve ! Il n'y avait aucune femme pour me servir de modèle. Mais j'étais très ambitieuse, j'ai toujours pensé que je pourrais devenir médecin ou dentiste. Et puis, les professeurs ont joué un rôle très important. J'ai rencontré un assistant lors de ma première

⇒ Les lasers ont des applications multiples dans le domaine des sciences. Ici, « Reflets et gouttes d'eau », une illustration de l'expérience « La fontaine laser géante » du LPL (CNRS/Paris 13). Elle permet de comprendre le fonctionnement des fibres optiques tout en apportant une démonstration des principes fondamentaux de l'optique. Voir www.fontainelaser.fr
© K. Penalba/INP-CNRS



année d'université [au Lesotho], il était dans les *Peace Corps* américains. Il savait rendre la chimie extrêmement passionnante. Il m'a montré la voie à suivre et je suis devenue mordue de chimie. J'ai eu de la chance, aussi. Je suis originaire du Lesotho et l'université m'a donné une bourse pour me former au Canada où j'ai passé des masters et soutenu ma thèse de doctorat. Je suis l'exemple de mes professeurs à présent : j'ai des doctorants qui viennent de toute l'Afrique et d'ailleurs.

En tant que première femme travaillant au département à l'université de Rhodes, vous avez dit que votre motivation était d'« accomplir l'impossible » ?

C'est la réalité, cela a été très difficile pour moi de progresser avec très peu de soutien. De nombreuses femmes baissent les bras à cause de cela. Il faut être un peu « folle » pour faire ce que j'ai fait. Mais je me suis juré que j'aiderai d'autres femmes autant que je le pourrai. Elles n'ont pas confiance en elles. Alors que, pour une raison qui m'échappe, les hommes sont, à l'inverse, sûrs d'eux-mêmes, même lorsque ce qu'ils disent n'a pas grand sens !

Notre époque, est-elle favorable aux femmes scientifiques en Afrique du Sud ?

Oui, c'est une bonne période, j'ai beaucoup d'étudiantes. Je les attire même si je suis un peu sévère ! Pour être honnête, je pense que les gens ne saisissent pas assez les occasions qui se présentent à eux. Nous sommes dans un pays qui a de la chance. L'Afrique du Sud est à la fois un pays émergent et un pays du tiers monde. Il y a des gens très pauvres qui trouvent leur nourriture dans les poubelles et d'autres qui sont très riches. Pourtant, l'infrastructure est là et le gouvernement a pris la décision qu'il n'allait pas seulement combattre la pauvreté mais aussi développer les sciences et les technologies. Les gens devraient en tirer parti et travailler dur... Mais on dirait que travailler dur n'est pas très populaire. Des crédits existent pour nous équiper et former davantage d'étudiants. Pour ma part, je ne perds aucune occasion de me mettre sur les rangs. ■

Tebello Nyokong, 59 ans, est professeur de pharmacologie et de nanotechnologies à l'Université de Rhodes (Afrique du Sud) où elle dirige le Centre d'innovation nanotechnologique des senseurs (Mintek). Elle est l'une des cinq lauréates du Prix L'ORÉAL-UNESCO pour les femmes et la science 2009.

Veiller sur la santé du pays

Parce qu'elle est à même de fournir des informations sur l'épineuse question de la contamination de l'environnement par des métaux lourds, la chimie tient une place importante dans la chaîne décisionnelle de l'Éthiopie, pays qui est à l'origine de l'idée de célébrer l'Année internationale de la chimie 2011.

Bhagwan Singh Chandravanshi



© DR

La contamination des produits alimentaires par des métaux lourds est devenue un problème incontournable partout dans le monde. La pollution de l'eau, de l'air et de la terre contribue à la présence d'éléments nocifs – cadmium, plomb, mercure, arsenic – dans les denrées alimentaires. Le développement rapide du secteur industriel, le recours accru aux produits chimiques dans l'agriculture et l'essor de l'activité urbaine sont à l'origine de cette contamination des aliments.

Les métaux lourds sont présents dans la nature sous forme de traces, souvent infimes. Du coup, pour les détecter, il faut employer des méthodes analytiques sophistiquées, comportant trois étapes : échantillonnage, prétraitement des échantillons et analyse. Le choix d'une méthode particulière repose sur plusieurs critères tels que le coût, la sensibilité (limite de détection), la vitesse ou la disponibilité des appareils. Les échantillons analysés peuvent provenir de l'eau, de la terre, des poissons, des plantes (en particulier le khat, le thé et le café), des légumes et des fruits.

Bien que les métaux lourds ne soient naturellement présents qu'en faibles quantités dans les terres agricoles, ils deviennent toxiques en raison de leur capacité à s'accumuler dans les organismes. En les détectant, nous identifions leurs effets potentiellement néfastes non seulement sur le développement des plantes, mais également sur la santé humaine.

Les études que nous menons en Éthiopie nous permettent d'évaluer les taux de présence de ces métaux lourds et d'informer le gouvernement et la population sur les risques éventuels. Nos analyses montrent que pour l'instant le taux de métaux lourds est encore relativement faible en Éthiopie, mais qu'en relation avec l'activité humaine, il croît de temps à autre au-delà du taux de présence naturelle.

C'est ainsi que la chimie nous aide à veiller sur la santé de notre pays. ■

Bhagwan Singh Chandravanshi est professeur au Département de chimie de la Faculté des sciences, de l'Université d'Addis-Abeba, Éthiopie.

Le métal et le végétal : un pacte contre le cancer

Anlong Xu

Cibler la cellule malade sans endommager au passage les cellules saines, tel est l'objectif des nouvelles chimiothérapies du cancer. Facile à dire, mais difficile à faire. Les chercheurs se lancent sur différentes pistes y compris celles de la sagesse des anciens. Une plante utilisée dans la médecine traditionnelle chinoise pour combattre les tumeurs du tube digestif ouvre de nouvelles perspectives à la médecine moderne.

Malgré les avancées significatives en matière de prévention, diagnostic et traitement, le cancer demeure une des principales causes de décès à l'échelle mondiale. Jusqu'aux années 1960, le cancer était traité par voie chirurgicale et par radiothérapie, mais au cours des dernières cinquante années, la chimiothérapie s'est avérée être l'une des plus puissantes armes contre le cancer.

Le premier médicament anti-tumoral moderne, la moutarde azotée, a été découvert par hasard durant la Seconde Guerre mondiale. Des chercheurs remarquent accidentellement que le gaz moutarde (composé chimique qui doit son nom à sa couleur jaune et qui a, par ailleurs, été utilisé comme arme chimique lors de la Première Guerre mondiale) peut réduire le taux de globules blancs dans le sang. En 1942, Louis Goodman, Alfred Gilman et d'autres pharmacologistes de Yale (États-Unis) l'utilisent pour traiter des lymphomes avancés et trouvent qu'il peut induire la régression d'une tumeur. En 1949, la moutarde azotée obtiendra l'autorisation de mise sur le marché par la *Food and Drug Administration* (États-Unis), ce qui donnera un coup de pouce au développement de

nombreux médicaments chimiothérapeutiques pour traiter différents types de cancers.

Mais ces médicaments provoquent, comme on le sait, de sérieux effets secondaires et il faudra attendre le début du troisième millénaire pour que s'ouvre une nouvelle ère dans la thérapie contre le cancer, fondée sur le ciblage moléculaire. Il s'agit d'une nouvelle génération de médicaments qui ne sont plus diffusés dans tout l'organisme (endommageant au passage les cellules saines), mais qui ciblent précisément l'endroit où se trouvent les cellules cancéreuses.

Éviter les dégâts collatéraux

Si la plupart des médicaments utilisés dans le traitement du cancer sont des composés organiques, il existe également des médicaments à base de complexes métalliques. L'utilisation de métaux pour soigner des maladies remonte à l'antiquité. Il y a 2 500 ans, les Chinois savaient déjà que l'or pouvait être utilisé à des fins médicinales. Plus près de nous, c'est le platine, autre métal précieux, qui sera à la base de l'un des médicaments anticancéreux les plus vendus au monde encore aujourd'hui : le cisplatine. Nous le

 Fragments de cellules cancéreuses.

© INSERM/J. Valladeau

devons au chimiste américain Barnett Rosenberg et à ses collègues qui ont découvert par un heureux hasard, en 1965, qu'il empêchait la prolifération des cellules cancéreuses.

Mais, là aussi, les effets secondaires se sont révélés néfastes, ce qui a incité les chercheurs à développer des médicaments à base d'autres métaux comme, par exemple, le ruthénium. Grâce au travail pionnier de chimistes comme Michael J. Clarke (États-Unis), Bernhard K. Keppler (Autriche) et Peter J. Sadler (Royaume-Uni), le ruthénium apparaît comme une alternative particulièrement attractive au platine. À l'instar du fer, il est capable de se lier à la transferrine, cette protéine du sang qui transporte le fer vers les organes. Au lieu de se répandre dans l'organisme, il va s'accumuler dans les régions tumorales, attiré par les cellules cancéreuses qui possèdent en surface cinq à 15 fois plus de récepteurs de transferrine que les cellules normales. Ainsi, il cible directement la cellule malade et la détruit. Outre cette grande précision, certains complexes de ruthénium ont la capacité de paralyser les métastases, c'est-à-dire d'empêcher la propagation du cancer à d'autres parties du corps.

Une nouvelle stratégie

Élargissant le champ de la recherche sur les complexes de ruthénium, notre groupe de recherche a démontré récemment que la combinaison du ruthénium et d'un ingrédient actif de l'harmel (*Peganum harmala*) peut fournir une nouvelle stratégie pour développer des médicaments anticancéreux. Dans la médecine chinoise traditionnelle, les graines de cette plante, sous forme de poudre, servaient de remède contre les tumeurs du tube digestif. Aujourd'hui, certains des complexes chimiques obtenus par cette alliance du métal et du végétal parviennent à empêcher la prolifération des cellules malades de manière bien plus efficace que le cisplatine. De surcroît, nous avons constaté que ces complexes chimiques pouvaient induire simultanément une apoptose et une autophagie cytoprotective dans des cellules cancéreuses humaines. À notre connaissance, c'est la première fois que cette double action a été démontrée.

L'apoptose, parfois appelée « suicide programmé des cellules », est un processus normal qui aboutit, à un certain moment, à la mort de certaines cellules « usées ». Or, chez les cellules cancéreuses, la fonction d'apoptose est dérégulée, ce qui explique leur prolifération continue. Les nouvelles recherches en oncologie se concentrent donc en grande partie sur les molécules provoquant le suicide des cellules cancéreuses.

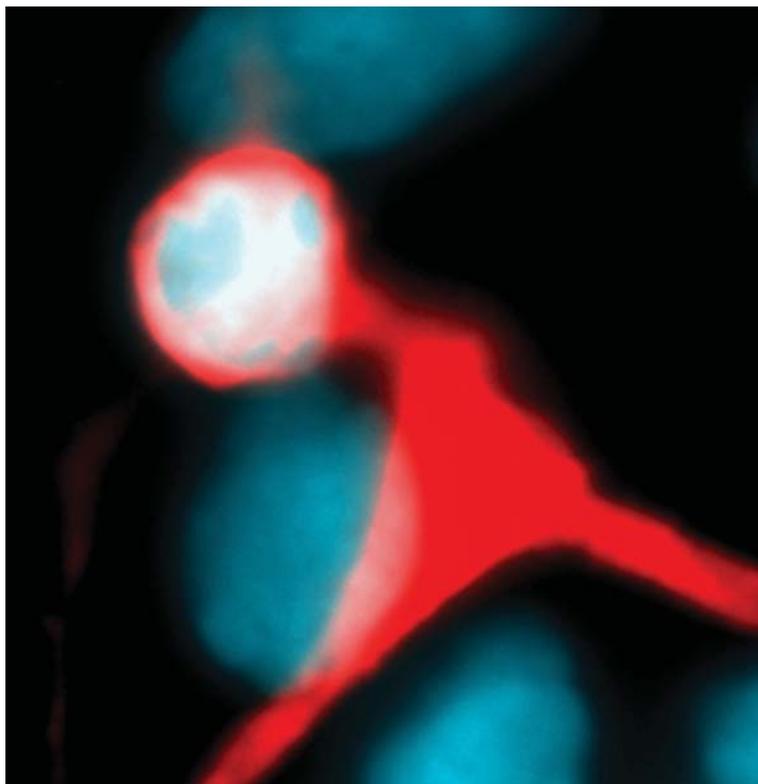
Quant à l'autophagie (littéralement « action de se manger soi-même »), elle constitue un mécanisme permettant à la cellule de digérer en partie son contenu, pour assurer sa survie. C'est

une arme à double tranchant, car elle peut permettre soit la survie des cellules saines au détriment des malades (protégeant le cytoplasme), soit, inversement, la survie des cellules malades au détriment des saines.

Les molécules sur lesquelles nous travaillons visent à activer l'autophagie en vue de détruire des cellules cancéreuses qui résistent à l'apoptose. Cela constitue une nouvelle approche dans le traitement du cancer qui devrait renforcer notre lutte contre ce fléau.

Selon les statistiques fournies par le *National Cancer Institute* (États-Unis), le taux de survie à certains cancers a considérablement augmenté dans les dernières décennies. Pourtant, les taux de guérison pour d'autres types de cancers restent très bas. Par exemple, le taux global de survie au-delà de cinq années pour les malades du cancer du foie est inférieur à 10 %. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) des Nations Unies estime qu'environ 760 millions de personnes sont mortes du cancer en 2008 et que ce nombre pourrait atteindre 1 320 millions en 2030. La guerre n'est pas terminée. ■

Les molécules sur lesquelles nous travaillons visent à activer l'autophagie en vue de détruire des cellules cancéreuses qui résistent à l'apoptose. Cela constitue une nouvelle approche dans le traitement du cancer qui devrait renforcer notre lutte contre ce fléau.



Anlong Xu est vice-président Recherche et Développement et professeur d'immunologie et de biologie moléculaires à l'Université de Sun Yat-sen, Chine. Il est le Directeur de la *State Key Laboratory of Biocontrol*, membre de la commission d'experts en charge des nouveaux médicaments de l'Administration d'État pour les aliments et les médicaments et également membre de la *Pharmacopoeia Commission of China*.

🔬 Culture de cellules : neurone dopaminergique en apoptose.
© INSERM/P. Michel



De la primauté de la nature

Vanderlan da Silva Bolzani

La nature a fourni plus de la moitié des entités chimiques qui ont été approuvées par les agences de régulation à travers le monde, au cours de ces 40 dernières années.

Les Kallawayas constituent une communauté d'herboristes et de guérisseurs des Andes boliviennes. La cosmovision andine des Kallawayas a été inscrite sur la Liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité, en 2008.
© UNESCO/J. Tubiana

La question du lien entre l'exploitation des ressources naturelles et les bénéfices socio-économiques de la bioprospection s'est posée avec de plus en plus d'acuité depuis le Sommet de la Terre (Rio de Janeiro, Brésil, 1992). La Convention sur la diversité biologique, adoptée à cette occasion, a pour objectifs principaux « la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques ». Or, la bioprospection, consistant à inventorier les éléments constitutifs de la biodiversité en vue d'assurer sa conservation et son exploitation durable, n'a pas cessé pour autant d'être détournée au profit de sociétés qui brevetaient des substances recensées.

La 10^e Conférence des parties à la Convention, qui s'est tenue en octobre dernier à Nagoya (Japon), changera la donne, car il a abouti à un accord juridiquement contraignant sur le partage juste et équitable des ressources

génétiques. Ce protocole régira, à partir de 2012, les relations commerciales et scientifiques entre les pays qui détiennent non seulement la plupart des matériaux biologiques mais aussi les savoirs connexes, souvent séculaires, et les pays qui en font un usage industriel. Nous avons tourné une nouvelle page dans l'histoire de l'exploitation de l'extraordinaire chimiodiversité des pays dits mégadivers (les plus riches en biodiversité).

La chimiodiversité est une composante de la biodiversité. En effet, les métabolites secondaires – tanins, latex, résines et des milliers d'autres molécules identifiées à ce jour – qui assument des fonctions très variées dans la vie des végétaux, jouent un rôle crucial dans le développement de nouveaux médicaments.

Bien que nous vivions à l'ère de la chimie combinatoire, du criblage à haut débit et de l'ingénierie moléculaire, nous continuons de puiser dans la nature la matière première pour nombre de nouvelles thérapies qui rencontrent un franc succès dans les laboratoires et sur le marché. La nature a fourni plus de la moitié des entités chimiques qui ont été approuvées par les agences de régulation à travers le monde, au cours de ces 40 dernières années. ■

Vanderlan da Silva Bolzani, professeur de chimie à l'Institut de Chimie de l'Université de l'État de Sao Paulo - UNESP (Araraquara, Brésil), a présidé la Société brésilienne de chimie de 2008 à 2010.

Le boom pharmaceutique indien

Entretien avec SUNIL MANI, conduit par Shiraz Sidhva, correspondante indienne du *Courrier de l'UNESCO*

En trois décennies, l'Inde est parvenue à la troisième place mondiale de la production pharmaceutique. Quasiment autosuffisante en médicaments, elle occupe la première place mondiale en nombre d'usines approuvées par la *Food and Drug Administration* (États-Unis). Son industrie pharmaceutique, spécialisée dans les produits génériques à des prix défiant toute concurrence, compte quelque 5 000 fabricants et emploie 340 000 personnes. Quelle est la clé de ce succès ? Et quels en sont les revers ?

Comment expliquez-vous la croissance phénoménale de l'industrie pharmaceutique indienne, devenue en quelques dizaines d'années synonyme de production à bas coût de médicaments génériques d'excellente qualité ?

L'industrie pharmaceutique est aujourd'hui au premier rang des industries scientifiques indiennes, avec un vaste savoir-faire dans les domaines complexes de la fabrication et de la technologie des médicaments. Elle est passée d'un chiffre d'affaires modeste de 300 millions de dollars en 1980 à près de 19 milliards en 2008. L'Inde est aujourd'hui au troisième rang mondial en volume produit, avec 10 % de part de marché, derrière les États-Unis et le Japon. Mais elle n'est que quatorzième en valeur de production, soit 1,5 % du marché.

Plusieurs facteurs ont contribué à cette croissance extraordinaire. En 1970, le gouvernement a adopté une loi sur les brevets réduisant l'emprise des multinationales étrangères qui dominaient le marché indien depuis l'indépendance du pays en 1947. Cette politique favorable aux droits de propriété intellectuelle, mais ne reconnaissant pas les brevets internationaux sur les produits pharmaceutiques, a lancé les fabricants indiens sur la piste des produits génériques à des prix défiant toute concurrence.



Sunil Mani est président de la Commission de planification de l'économie du développement au Centre d'études de développement à Trivandrum, Inde. Il est l'un des auteurs du *Rapport mondial de l'UNESCO sur la science 2010*.

© UNESCO/M. Ravassard



Les industriels indiens ont ainsi bénéficié d'une longue période d'apprentissage, qui leur a permis de passer maîtres dans l'« ingénierie inverse ».

Les industriels indiens ont ainsi bénéficié d'une longue période d'apprentissage, qui leur a permis de passer maîtres dans l'« ingénierie inverse » (c'est-à-dire la copie de médicaments brevetés à l'étranger) et le développement local des technologies avec un excellent rapport coût-efficacité.

Un autre facteur stimulant la croissance de l'industrie a été la formation massive de scientifiques. L'enseignement supérieur indien est plus porté sur les sciences de la vie que sur le génie ou la technologie. Dans les années 1970 et 1980, et même jusque dans les années 1990, pour huit diplômés en sciences, il n'y avait qu'un ingénieur. D'où l'avantage comparatif de l'Inde dans des secteurs scientifiques comme l'industrie pharmaceutique.

L'État indien a aussi accordé des bourses et proposé des réductions d'impôts pour encourager la création d'infrastructures de recherche.

Comment l'industrie a-t-elle franchi le cap de 2005, lorsque l'Inde est revenue sur sa politique protectionniste en modifiant la loi sur les brevets, conformément à l'Accord sur la propriété intellectuelle (ADPIC) de l'Organisation mondiale du commerce ? L'industrie mise-t-elle toujours sur les exportations, alors que le marché intérieur a doublé en dix ans ?

Une bonne part de la croissance de l'industrie pharmaceutique indienne repose sur les

exportations, qui ont progressé de près de 22 %, entre 2003 et 2008. Actuellement, l'Inde exporte des médicaments intermédiaires, en vrac ou finis, des principes actifs, des produits biopharmaceutiques et des services cliniques. En 2008, ses cinq principaux clients étaient, par ordre décroissant, les États-Unis, l'Allemagne, la Russie, le Royaume-Uni et la Chine.

L'industrie compte quelque 5 000 fabricants indiens et étrangers sous licence, employant directement 340 000 personnes. Elle est dominée par les formulations pharmaceutiques et les principes pharmaceutiques actifs (respectivement mélanges des différentes substances chimiques et produits chimiques actifs, nécessaires pour fabriquer un médicament).

L'Inde est quasiment autosuffisante en médicaments, comme en témoigne sa balance commerciale de plus en plus positive. L'industrie pharmaceutique est l'une des plus innovantes de l'Inde pour sa recherche-développement (R&D) et pour le nombre de brevets décernés, aussi bien en Inde qu'à l'étranger. Elle est particulièrement active sur le marché du générique, y compris à destination des pays développés.

En 2007 et 2008, une demande d'ANDA sur quatre (processus d'approbation rapide de médicaments génériques pour le marché américain) provenait de l'industrie

 Fabrication de médicaments avec des vêtements de protection, en Inde, l'un des leaders mondiaux dans le domaine pharmaceutique.
© Sinopictures/dinodia/
Specialist Stock

pharmaceutique indienne. Il en est de même pour près du quart des dossiers de commercialisation de la *Food and Drug Administration* (FDA) des États-Unis. L'Inde compte aussi le plus grand nombre d'usines approuvées par la FDA au monde.

Certains fabricants indiens, hier champions des copies génériques, lorgnent aujourd'hui sur la production de nouveaux médicaments. L'industrie serait-elle prête à lancer un produit entièrement développé en Inde ?

Ce sera difficile. Les coûts de lancement d'un nouveau produit se chiffrent parfois en milliards de dollars. L'Inde possède une réglementation, sans doute moins draconienne que la FDA américaine, mais tout aussi complexe. Car il s'agit tout de même de produits destinés à l'usage humain. Les essais cliniques atteignent des coûts prohibitifs, avec des taux d'échec extrêmement élevés. Il faut facilement neuf à dix ans pour développer un médicament. Des découvertes ont déjà eu lieu à petite échelle, mais pour que l'Inde puisse innover au niveau mondial, il faudra du temps. Et il y a peu de chances que cela se fasse à très grande échelle : cela exige des investissements massifs dans la R&D, ce que la plupart des sociétés indiennes ne peuvent se permettre.

L'Inde se profile depuis peu comme plaque tournante de la R&D pharmaceutique et voit affluer les sociétés étrangères en demande d'essais cliniques. Qu'en est-il exactement ?

C'est une des retombées de la capacité d'innovation de l'Inde dans le domaine pharmaceutique : elle est devenue une destination prisée pour les essais cliniques, la fabrication sous contrat et la R&D externalisée. Ces débouchés sont très prometteurs pour l'industrie pharmaceutique indienne. Selon les estimations, 103 milliards de dollars de produits américains devraient perdre leurs brevets d'ici 2012. Le marché mondial de la fabrication sous contrat de médicaments prescrits devrait par ailleurs progresser, d'ici environ 2015, de 26 à 44 milliards de dollars.

Les essais cliniques coûtent bien moins cher en Inde que dans les pays occidentaux. Mais surtout, le pays regorge de patients « naïfs », c'est-à-dire n'ayant jamais subi aucun traitement, et les essais donnent de bien meilleurs résultats sur les primo-utilisateurs. Le troisième facteur est la présence de médecins anglophones hautement qualifiés pour mener ces essais (en Inde la langue principale utilisée dans l'éducation supérieure est l'anglais). Aussi, la durée du

développement clinique est bien plus courte, parce qu'il est plus facile d'obtenir l'assentiment des patients.

L'Inde reste l'un des principaux fournisseurs d'antibiotiques et de traitements du cancer et du sida à des prix relativement abordables pour les pays en développement. Quel est l'impact des génériques de fabrication indienne sur les soins de santé en Inde ? Et dans le monde ?

C'est difficile à évaluer avec précision, parce que l'industrie pharmaceutique indienne est surtout axée sur les exportations, que ce soit vers d'autres pays en développement ou l'Occident. Les sociétés indiennes ont joué un rôle moteur dans la baisse spectaculaire des prix des antirétroviraux, assurant aux malades du sida un meilleur accès aux traitements. C'est l'une des principales contributions de l'industrie pharmaceutique indienne à la santé, en Inde comme dans le reste du monde, ces dernières années.

Malheureusement, en gardant l'œil rivé sur les exportations, les industriels indiens laissent de côté les maladies dites « négligées », comme la malaria ou la tuberculose, dont les fabricants occidentaux n'ont que faire, parce que les marchés sont exigus et les patients généralement pauvres et donc incapables de financer leurs traitements. Ce ne sont pas des médicaments qui permettent de faire de gros bénéfices. Les sociétés indiennes sont sur la même ligne idéologique, si bien qu'aucune ne propose de projets de R&D crédibles dans ce domaine. ■

Les essais cliniques coûtent bien moins cher en Inde que dans les pays occidentaux. Mais surtout, le pays regorge de patients « naïfs », c'est-à-dire n'ayant jamais subi aucun traitement, et les essais donnent de bien meilleurs résultats sur les primo-utilisateurs.



Les bienfaits des algues

Vicki Gardiner

Peu après la découverte, en 1977, du site archéologique de Monte Verde au Chili, on trouva des échantillons de neuf algues dans la hutte d'un guérisseur, qui avait vécu sur ces lieux quelque 14 mille ans auparavant. À 17 mille kilomètres de là, les Japonais de l'archipel Okinawa sont connus, depuis l'antiquité, comme de grands consommateurs d'algues brunes, qui contiennent du fucoïdane, substance très riche en polysaccharides sulfatés (sucres naturels).

Ces trente dernières années, la recherche sur le fucoïdane et d'autres polysaccharides marins a confirmé, à travers quelque 800 articles scientifiques, ce que les Japonais savaient depuis toujours : le fucoïdane est un anti-inflammatoire et un anticoagulant puissant, il inhibe certains virus, il améliore le système immunitaire. Les études les plus récentes sur un nouveau produit à base de fucoïdane ont prouvé une de ses facultés inconnues jusqu'ici : réduire les symptômes d'arthrose du genou.

Aujourd'hui, nombre de préparations médicales et suppléments nutritionnels contiennent des algues ou des extraits d'algues. Les algues brunes géantes, séchées et broyées, sont utilisées pour leurs teneurs en iode ; les agar-agars, pour leurs propriétés gélifiantes ; les alginates, pour leur capacité d'arrêter les reflux acides. Par ailleurs, les agar-agars servent de milieu

Les études les plus récentes sur un nouveau produit à base de fucoïdane ont prouvé une de ses facultés inconnues jusqu'ici : réduire les symptômes d'arthrose du genou.

🔴 *Le wakame, ou fougère de mer, est une algue comestible très populaire au Japon.*

© Ian Wallace

pour la culture en microbiologie, en vue d'identifier des agents infectieux. Quant aux sels d'alginates, ils forment des gels que l'on introduit dans les patchs, par exemple, car la substance médicamenteuse peut être encapsulée pour permettre une lente diffusion dans le corps.

Les extraits d'algues marines, comme le fucoïdane, présentent un potentiel considérable pour le développement de nouveaux produits sur le marché des aliments (aliments avec des vertus médicinales) et de la pharmacie. Néanmoins, un des plus grands défis à relever dans ce domaine reste la qualité des algues. Avec la baisse de la qualité de l'eau, conséquence de l'industrialisation rapide, il est de plus en plus difficile de trouver des algues qui ont une faible concentration de toxines, comme les métaux lourds par exemple. L'autre grand défi consiste à utiliser cette ressource tout en respectant l'environnement, afin de conserver la biodiversité de l'écosystème marin. ■

Membre de l'académie des sciences en Australie et Secrétaire générale honoraire de l'Institut royal australien de chimie (RACI), **Vicki Gardiner** est directrice de l'innovation et du développement produit chez Marinova Pty Ltd. Elle est responsable de l'Année internationale de la chimie auprès de RACI.



La chimie fait peau neuve

Elle a beau être à l'origine de la plupart des innovations qui ont contribué au mieux-être de l'humanité, la chimie fait souvent figure d'épouvantail dans le grand public. Beaucoup l'associent aux fumées noires des cheminées d'usine. De fait, entre les scandales de la chimie pharmaceutique, les effets délétères des pesticides et les catastrophes industrielles, la chimie a accumulé par le passé nombre de mauvais points qui ont terni son blason au point, parfois, d'occulter ses bienfaits.

Mais, à pollution chimique, solutions chimiques : ces 20 dernières années, chercheurs et chimistes du secteur industriel rivalisent en ingéniosité pour combattre notamment le changement climatique et la dégradation de l'environnement. La chimie « verte » a le vent en poupe aussi bien en Occident que dans les pays émergents ou en développement. En témoigne l'enthousiasme des étudiants qui nous ont écrit. Ils ne représentent qu'une infime partie des jeunes qui, après s'être désintéressés de la chimie, reviennent vers elle pour la réinventer.



Comment désamorcer les bombes aérosols

Jes Andersen

journaliste danois,
rencontre
Ole John Nielsen

La chimie des gaz industriels s'est successivement heurtée aux problèmes du trou d'ozone et du réchauffement climatique. La recherche s'est consacrée à la mise au point de composés de moins en moins dangereux. Ces dix dernières années, elle a diminué de 350 fois le potentiel de réchauffement global des gaz utilisés dans les aérosols, réfrigérateurs et climatiseurs.

Tous ceux qui utilisaient un vaporisateur en 1973 tuaient la planète à petites doses... sans le savoir. Un an plus tard, tout devint clair : les chimistes Mario Molina et F. Sherwood Roland [lauréats 1995 du prix Nobel de chimie] avaient découvert que le gaz fréon utilisé dans les aérosols détruisait la couche d'ozone.

Dès lors, prédire le sort des produits chimiques dans l'atmosphère devint la passion d'un jeune étudiant, Ole John Nielsen, futur professeur à l'Université de Copenhague, membre du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du Climat (GIEC), et

« diseur de bonne aventure chimique ».

« Ils annonçaient que les chloro-fluorocarbones (CFC) allaient détruire la couche d'ozone qui protège la planète des rayonnements ultraviolets, que l'augmentation des radiations allait causer des cancers... à les entendre, la fin du monde était proche. L'étudiant jeune et naïf que j'étais a naturellement ressenti le besoin de s'intéresser à ces composés et à leurs effets sur l'atmosphère », raconte Nielsen.

L'idée que les activités humaines pouvaient endommager l'atmosphère terrestre était peut-être nouvelle en 1974, mais au milieu des années

📌 *Ce n'est que dans les années 1970 que l'on a découvert l'effet nocif du gaz fréon utilisé dans les bombes aérosols.*

© iStockphoto.com/Franck Boston

L'idée que les activités humaines pouvaient faire du mal à endommager l'atmosphère terrestre était peut-être nouvelle en 1974, mais au milieu des années 1980, il n'y avait plus l'ombre d'un doute.

1980, il n'y avait plus l'ombre d'un doute : les CFC commençaient à ronger la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique.

Comme ils étaient utilisés également dans le refroidissement des climatiseurs et des réfrigérateurs, des millions de tonnes de CFC étaient relâchés dans l'atmosphère. « On ne se posait pas la question de savoir ce que ces composés allaient devenir, ni quels pouvaient être leur effets », se souvient Ole John Nielsen.

De son côté, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) s'était inquiété et se préparait à museler tout aérosol suspect. « Le protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone » fut donc ouvert à la signature le 16 septembre 1987. Il est aujourd'hui ratifié par 196 États. Pour l'essentiel, ce traité international déclarait illégaux tous les composés dangereux pour la couche l'ozone. La fin des CFC avait sonné.

Entre temps, Ole John Nielsen s'était forgé une réputation dans la chimie de l'atmosphère et se préparait à affronter « les tueurs d'ozone ». En un an, il avait publié avec son équipe pas moins de 25 articles sur le sujet. Il ne fut donc pas surpris lorsque des industriels l'approchèrent pour tester un nouveau composé susceptible de remplacer les CFC. « Nous étions les bonnes personnes, nous avons les bonnes compétences, et c'était le bon moment », raconte-t-il.

Il s'agissait d'un hydrofluorocarbure connu sous l'appellation de « HFC 134a ». Il était réellement moins dangereux pour la couche d'ozone, et semblait même carrément inoffensif. À partir de 1994, le HFC 134a remplaça donc les CFC dans la plupart des applications, et le professeur Nielsen se dit qu'il ferait mieux de se trouver un autre champ de recherche.

Mais le scientifique danois ne put raccrocher ses « gants atmosphériques », car le produit qu'il

avait certifié sans danger pour l'ozone était autrement dangereux pour la planète... On découvrit que le HFC 134a piégeait les rayons infrarouges, provoquant un effet de serre : au composé sans dommages pour l'ozone, on attribua par contre un potentiel de réchauffement global (PRG) 1 400 fois supérieur à celui du CO₂ !

Heureusement, l'industrie se montra ouverte à l'idée de tester et d'adopter un meilleur réfrigérant. « Au cours de ma vie, je dois dire que j'ai été témoin d'un changement d'attitude radical », confirme Nielsen. « Aujourd'hui, lorsqu'on veut produire un composé en grande quantité, on demande aux spécialistes leur avis sur les effets éventuels de son émission. Cela n'a pas toujours été le cas. Bien sûr, il y a aussi la législation qui veille sur l'environnement, mais il est évident que les industries, en particulier les grandes sociétés, agissent maintenant de façon beaucoup plus responsable ».

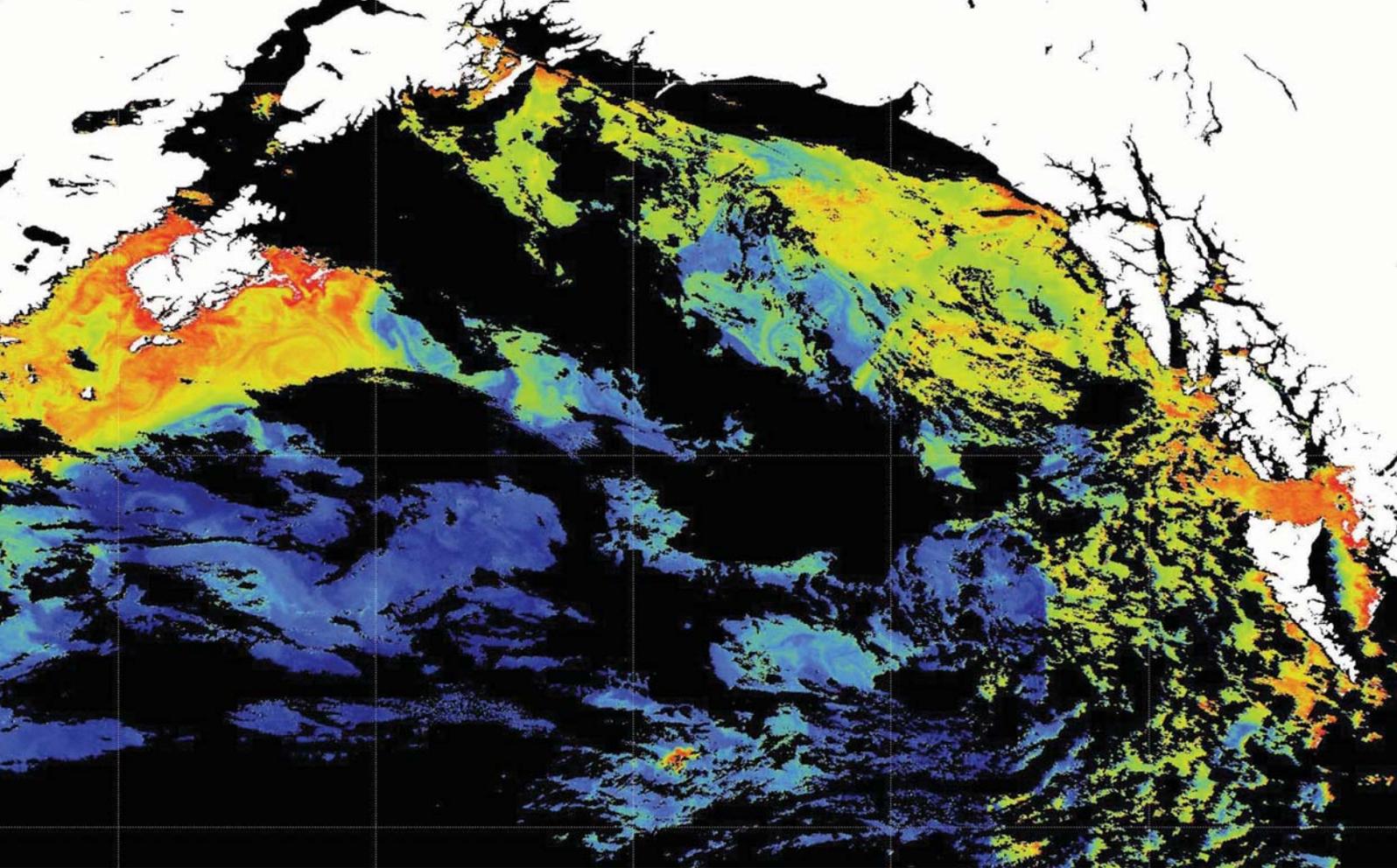
À partir de 2011, les systèmes de climatisation automobile européens devront utiliser un réfrigérant dont le PRG est inférieur à 150. Celui du HFC 134a affichant un PRG de 1 400, Nielsen et son équipe ont testé un nouveau composé. Avec un PRG de seulement 4, ce HFO-1234yf mettra les constructeurs automobiles en conformité avec les normes européennes.

Prochaine étape, selon Nielsen : les biocarburants ! Il se peut que l'éthanol et le butanol n'aient pas d'effets sur le réchauffement climatique, mais, dans l'atmosphère, ils pourraient générer des produits nocifs pour la santé de l'homme. « Si les biocarburants en viennent à remplacer le diesel et l'essence, nous avons intérêt à bien connaître leur impact sur l'atmosphère avant de les utiliser. C'est valable pour tous les composés émis dans la nature », conclut le scientifique. ■

Ole John Nielsen, professeur à l'Université de Copenhague, est membre du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), prix Nobel de la paix 2007. Il est spécialiste en chimie atmosphérique.

© Jes Andersen





Réchauffement climatique : le Plan B

La géo-ingénierie a le vent en poupe au sein de la communauté scientifique. Limiter l'impact du réchauffement climatique en manipulant l'environnement est une idée aux ramifications nombreuses que développe un nombre croissant de chimistes et physiciens, et non des moindres : l'Américain Klaus Lackner, l'Australien Ian Jones, le Britannique James Lovelock, le Hollandais Paul Crutzen, pour ne citer que ceux-là.

Certes, ils espèrent que la recherche nous apportera de nouvelles sources d'énergies permettant le ralentissement du réchauffement climatique. Mais en attendant, ils travaillent sur ce qu'on appelle désormais « le Plan B ». Deux approches sont privilégiées parmi ces alternatives de sauvetage de la planète : l'une consistant à capturer le CO₂ en vue de diminuer la concentration de gaz à effet de serre (dopage des arbres au nitrogène, arbres synthétiques, fertilisation des océans ou tapissage de leur sol avec du calcaire), l'autre visant à dévier une partie du rayonnement solaire (pare-soleil géant constitué de milliards de petits disques de verre, couche protectrice de particules de sel provenant des océans ou de particules de sulfate).

Si la première approche comporte moins de risques, on estime qu'elle est trop lente par rapport à la seconde, que l'on considère comme trop risquée. Dans les deux cas, les coûts sont élevés et l'efficacité limitée.

Le fer contre l'anémie de la mer

Philip W. Boyd

Le fer est l'un des principaux éléments dont se nourrissent les organismes microscopiques vivant à la surface des eaux connus sous le nom de phytoplancton. Le fer favorise la prolifération de ces micro-algues qui se développent en assimilant, par photosynthèse, du gaz carbonique (CO₂) dissous dans l'eau et qui, en mourant, font disparaître ce gaz au fond des océans. Ce processus naturel est appelé « pompe biologique » à carbone.

Pour piéger durablement une partie du CO₂ que l'homme rejette dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle, et limiter ainsi le réchauffement de la Terre, les partisans de la fertilisation préconisent de déverser dans les océans des quantités massives de fer dissous dans une solution acide.

Pourquoi ? Parce que le phytoplancton est anémique. Bien que le fer soit le quatrième élément le plus abondant de la croûte terrestre, il est très rare au milieu des océans, dans des zones trop éloignées des côtes pour être alimentées en fer par les fleuves.

📡 Observation d'un développement du phytoplancton au large des côtes du golfe d'Alaska (océan Pacifique) induit par un approvisionnement en fer au cours de l'été 2002. Image satellite du programme Ocean Color. Le bleu dénote les bas niveaux de phytoplancton et les couleurs de plus en plus chaudes, du vert au rouge, indiquent des quantités croissantes.
© Reproduit avec l'aimable autorisation de Jim Gower (IOS, Canada)/NASA/Orbimage

Tout comme chez l'homme, les cellules fonctionnent mal quand elles sont malades. Ces algues ont beau être microscopiques, elles occupent de très vastes étendues d'océans et leur anémie collective a des conséquences planétaires, notamment sur le climat. D'autant que le phytoplancton marin, quand il est en bonne santé, produit plus d'oxygène que toutes les forêts de la Terre réunies.

De là est venue l'idée de « fertiliser » de main d'homme certaines régions marines avec des particules ferreuses, afin d'y favoriser la production végétale. Mais de la coupe aux lèvres...

Aujourd'hui, un nombre grandissant d'experts scientifiques doutent du bien-fondé d'un ajout en fer aux mers du globe pour éponger les émissions de CO₂, et pointent du doigt les possibles effets secondaires d'une telle stratégie. Loin de ne faire qu'imiter la nature, l'ensemencement pourrait notamment conduire au développement de vastes zones sous-marines à la fois acidifiées et démunies d'oxygène (les algues coulent au fond de l'océan et se décomposent sous l'effet des microbes marins), sans oublier qu'il favoriserait la prolifération d'algues toxiques dans les eaux de surface.

Fertiliser artificiellement les océans dans l'espoir de remédier à l'augmentation du CO₂ atmosphérique a tout d'une entreprise à haut risque et semble coûter aussi cher que bon nombre d'autres propositions émanant de sociétés de géo-ingénierie dont les effets secondaires seraient moins considérables. Par exemple, d'aucuns préconisent la mise en place d'« arbres synthétiques » composés d'un pilier et d'une structure équivalente aux branches qui capterait le CO₂. ■

Philip W. Boyd est professeur de biogéochimie marine au *National Institute of Water & Atmospheric Research* et au *Centre for Chemical and Physical Oceanography* de l'Université d'Otago située à Dunedin (Nouvelle-Zélande).

Arbres synthétiques

Rencontre avec Klaus Lackner

Katerina Markelova

Au chapitre des solutions permettant de capturer le CO₂ et diminuer ainsi la concentration de gaz à effet de serre, la favorite semble être celle des arbres synthétiques, conçue par Klaus Lackner, géophysicien et professeur à l'université de Columbia (États-Unis). Encore au stade de prototype, cet épurateur de CO₂ devrait filtrer l'air à la manière d'un arbre naturel, mais avec une capacité bien plus importante. « Un épurateur de CO₂ de la même taille qu'un moulin à vent peut retirer de l'air beaucoup plus de CO₂ qu'un moulin ne peut éviter d'en produire », explique l'inventeur de la méthode.

L'idée lui a été inspiré par sa fille : « C'était en 1998. Clare avait travaillé à un projet qui lui a permis de démontrer qu'on pouvait retirer le dioxyde de carbone de l'atmosphère ». En effet, au cours d'une nuit, elle a réussi à récupérer la moitié du CO₂ contenu dans l'air.

En prolongeant cette expérience, Klaus Lackner a construit un « aspirateur » qui, placé dans des zones de vent, absorbe l'air chargé en CO₂ et le filtre, avant de le relâcher purifié. La soude caustique est la clé du succès de cette méthode. C'est à son contact que le dioxyde de carbone se transforme en solution liquide de bicarbonate de sodium. Ce liquide est ensuite comprimé jusqu'à se transformer en gaz très concentré pouvant être stocké dans la roche poreuse des fonds marins. Sa densité étant plus importante que celle de l'eau, le gaz ne peut pas s'en échapper et y demeure séquestré durant des millions d'années.

Selon le professeur Lackner, il faudrait, dans un premier temps, « commencer par retirer une certaine quantité de CO₂ de l'air. Si le procédé s'avère économiquement rentable, il pourrait contrebalancer les émissions de CO₂ provenant des voitures et des avions. Par la suite, si l'on démontre que la méthode, combinée à d'autres technologies semblables, réussit à arrêter l'augmentation des taux de CO₂ dans l'atmosphère, on pourra se lancer dans la capture de l'air en quantités plus importantes et commencer à réduire le niveau de CO₂ ». ■

Les arbres synthétiques apportent une pièce au puzzle des négociations internationales concernant les émissions de dioxyde de carbone, car ils rendent possible la collecte de CO₂ pour le compte d'un autre pays. « La capture de l'air est capable de séparer les sources de pollution des puits de carbone », affirme Klaus Lackner. « Elle nous permet également d'imaginer un monde dans lequel toutes les émissions de CO₂ seront traitées. Sans oublier les voitures et les avions », insiste-t-il.

À l'heure actuelle, cette technologie est chère « comme l'aurait été une voiture faite à la main », pour reprendre l'expression Klaus Lackner, qui se montre optimiste quant aux possibilités de réduire les coûts. Néanmoins, les arbres artificiels ne sont pas une solution miracle. Comme le reconnaît le scientifique, « l'étape de la compression est celle qui consomme les plus grandes quantités d'énergie : 20 % du volume de CO₂ qu'un arbre synthétique peut capturer sont relâchés dans l'air par la production de l'électricité nécessaire à ce processus ».

La technologie de Klaus Lackner fait partie des solutions de longue haleine. « Elle exige du temps et un engagement certain », affirme-t-il, préconisant le recours aux énergies alternatives : « Ce n'est pas parce qu'un épurateur de CO₂ existe que nous devons continuer à polluer ». ■



📡 La capacité d'absorption de CO₂ des végétaux a servi de modèle aux arbres synthétiques de Klaus Lackner.

© UNESCO/Linda Shen

Vénus à la rescousse

Jasmina Šopova

Vénus nous livre-t-elle une clé pour lutter contre le réchauffement climatique ?

Dans un communiqué du 5 novembre 2010, le Centre national de la recherche scientifique en France (CNRS) annonçait qu'une équipe internationale de chercheurs venait de localiser une couche de dioxyde de soufre (SO₂) dans la haute atmosphère de Vénus. « Le SO₂ les intéresse particulièrement », explique le communiqué, « car ce gaz pourrait servir à refroidir la Terre, selon un processus de *geo-engineering* proposé par Paul Crutzen, prix Nobel de chimie [1995] ».

En effet, il y a cinq ans, le célèbre chimiste hollandais avait préconisé une solution d'urgence, en cas de réchauffement accéléré du climat, consistant à déployer dans la stratosphère un million de tonnes de soufre qui, au terme d'un processus

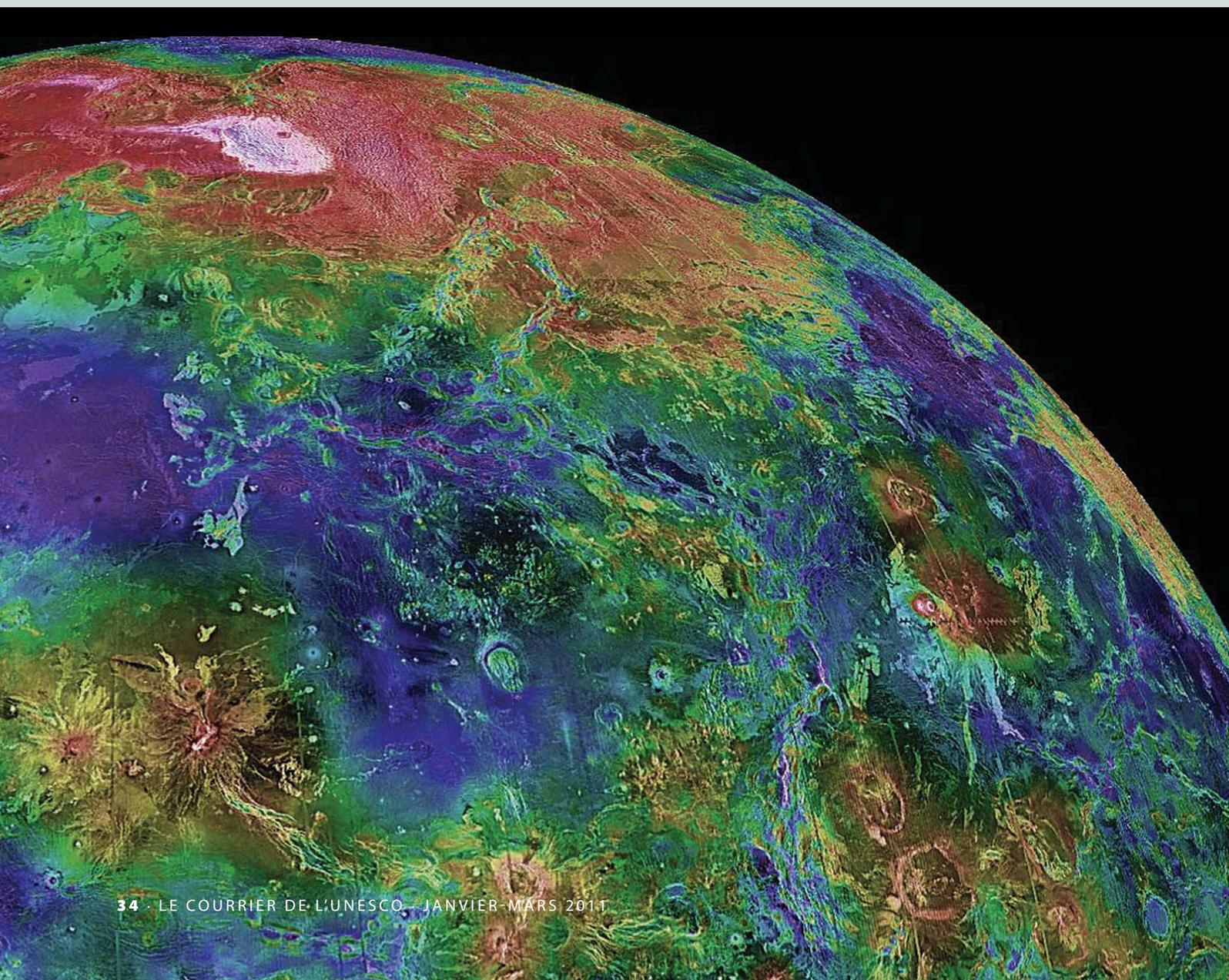
chimique naturel, se transformerait en dioxyde de soufre, puis en particules de sulfate. En réfléchissant les rayons du soleil, ces dernières permettraient de réduire la température moyenne de la Terre. Cette idée lui avait été inspirée par les recherches, dans les années 1970, du climatologue russe Mikhaïl Budyko, ainsi que par le volcan Pinatubo (Philippines) qui avait craché 10 millions de tonnes de soufre, en 1991, provoquant l'année suivante une baisse de la température moyenne du globe d'un demi degré.

Xi Zhang, qui a conduit les simulations informatiques ayant confirmé la présence de SO₂ dans la haute atmosphère de Vénus, affirme que les applications de cette découverte dans la manipulation du climat ne relèvent pas de son domaine de compétences. Néanmoins, l'article que ce chercheur de l'Institut californien de technologie signe avec son équipe dans *Nature Geoscience*, le 31 octobre 2010, n'écarte pas cette possibilité. Il conclut : « Étant donné le

haut degré de similitude entre la couche supérieure de brume de Vénus et la couche de sulfate dans la stratosphère terrestre (couche de Junge) qui constitue un régulateur important du climat de la Terre et de l'abondance de l'ozone, [nos] expériences et modélisations peuvent s'avérer pertinentes pour la chimie des aérosols stratosphériques et ses applications de la géo-ingénierie du climat de la Terre ».

Nous sommes encore au stade des hypothèses. Le SO₂ est un gaz qui, à concentration élevée, peut provoquer des maladies pulmonaires et cardiovasculaires, endommager la végétation, entraîner l'acidification des eaux et la corrosion des métaux, etc. Les scientifiques s'accordent à reconnaître qu'il reste un long chemin à parcourir avant de songer à appliquer pareil « écran solaire » sur la Terre. ■

 Vue d'une face de Vénus prise par la sonde Magellan.
© NASA/avec l'aimable autorisation de nasaimages.org





Du noir au vert

L'industrie chimique est l'une des plus importantes dans le monde. Sa production mondiale annuelle vaut un époustouflant 3 600 milliards de dollars américains. Pendant des décennies, elle ne s'est pas préoccupée de développement durable et de protection de l'environnement. Mais après des catastrophes majeures, comme Bhopal et Seveso, les attitudes ont commencé à changer. À la place de la chimie noire, la chimie verte a maintenant le vent en poupe partout dans le monde.

Jens Lubbadah

correspondant
allemand du *Courrier
de l'UNESCO* et
journaliste au
Greenpeace Magazine

Le 4 octobre 2010, une catastrophe frappe la Hongrie. Dans l'usine d'aluminium exploitée par l'entreprise MAL, près de la ville de Kolontár, à 160 kilomètres de Budapest, les murs d'un réservoir cèdent. Un torrent de boue rouge toxique, de deux mètres de haut, se déverse en submergeant des maisons et leurs habitants. Neuf personnes meurent, 150 sont blessées. Plusieurs centaines de milliers de tonnes de boue toxique contaminent 40 kilomètres carrés de terre. Cette boue est un déchet issu du processus de production d'aluminium. Elle est dangereuse parce qu'elle contient de l'hydroxyde de sodium hautement caustique et des métaux lourds toxiques, comme le mercure, l'arsenic et le chrome.

Au cours des dernières décennies, des accidents chimiques ont à maintes reprises été la cause de scènes d'horreur et de désarroi – et les images apocalyptiques qui en ont été tirées ont eu un effet négatif durable sur l'industrie chimique. En 1976, un gaz de dioxine s'échappe d'une usine appartenant à l'entreprise Icmesa, filiale de la société Hoffmann-La Roche, à Seveso, ville du nord de l'Italie, près de Milan. Le nuage de gaz, plusieurs milliers de fois plus toxique que du cyanure de potassium, sème la mort et la destruction sur son passage : les plantes dépérissent, les arbres perdent leurs feuilles, des milliers d'animaux meurent. Les images d'enfants défigurés et de travailleurs portant des masques à gaz et des habits blancs de protection font le

Éviter de créer des déchets, baisser la consommation d'énergie, améliorer l'efficacité de la production, explorer les ressources renouvelables, tels sont les principes fondamentaux de la chimie verte, née à la fin des années 1980.

©123rf.com/Michal Rozewski



tour du monde. Huit ans plus tard, un accident encore plus horrible se produit en Inde. Quarante tonnes d'un gaz d'isocyanate de méthyle, hautement toxique, s'échappent d'une usine appartenant au géant de l'industrie chimique américaine Union Carbide (maintenant une filiale de Dow Chemical) dans la ville de Bhopal, au centre de l'Inde. Plusieurs milliers de personnes sont tuées ; jusqu'à un demi million souffrent encore aujourd'hui des séquelles de la catastrophe. Bhopal est considéré à ce jour comme l'accident chimique le plus grave s'étant jamais produit. Deux ans plus tard, l'Europe est de nouveau la victime d'un accident, lorsque près de Bâle un entrepôt appartenant au géant de l'industrie chimique Sandoz (maintenant Novartis) part en fumée. Des pesticides toxiques se déversent dans le Rhin, dont l'eau devient rouge sur des centaines de kilomètres ; et des masses de poissons morts dérivent le long du fleuve.

Le pollueur numéro un

Kolontár, Bhopal, Seveso, Bâle. Les raisons de ces catastrophes sont presque toujours les mêmes : imprudence, négligence, erreur humaine. Et presque toujours les entreprises essayent de dissimuler et de minimiser les causes et conséquences des accidents. Les résultats, eux aussi, se ressemblent : campagne dévastée, végétation détruite, animaux morts, et au milieu de tout cela des travailleurs ressemblant à des extraterrestres dans leur tenue de protection. La population s'inquiète de plus en plus au sujet de cette mort invisible qui menace non seulement

Dans les années 1950, le nylon, le plastique et la lessive « Persil » étaient vus comme des signes du progrès ; dans les années 1970 et 1980, l'image de l'industrie chimique était devenue aussi noire que ses origines.

📍 En mars 2010, une centaine de tonnes de poissons morts a envahi la lagune Rodrigo de Freitas, à Rio de Janeiro, au Brésil. Parmi les raisons évoquées : le déversement des eaux usées, transportant des déchets toxiques de provenance domestique et industrielle. La prolifération d'une algue due à l'excès de nitrate et de phosphore aurait causé la mort des poissons par asphyxie.

© M.Flores – UNEP/Specialist Stock

avec les radiations, mais aussi avec les produits chimiques. C'est ce qui a provoqué la naissance du mouvement écologique dans les années 1970 et 1980. De plus en plus souvent, les pratiques des industries chimiques, comme le déversement des déchets toxiques dans la nature ou leur envoi dans des pays pauvres, sont rendues publiques. Dans les yeux d'une population de plus en plus sensibilisée à l'écologie, l'industrie chimique est devenue le pollueur numéro un. Le mot « chimique » est devenu synonyme de toxique. Aujourd'hui, les marchandises utilisent le label « sans produit chimique » comme un argument de vente. En juste quelques décennies, un changement dramatique d'image s'est produit. Dans les années 1950, le nylon, le plastique et la lessive « Persil » étaient vus comme des signes du progrès ; dans les années 1970 et 1980, l'image de l'industrie chimique était devenue aussi noire que ses origines.

Le mot *kemi* en égyptien ancien faisait à l'origine référence à la terre noire de la vallée du Nil, mais aussi au khol [voir p. 15]. En arabe, *kemi* est devenu *al-kimiya*, ou alchimie [voir p. 13]. Ce passe-temps obscur et occulte est devenu une véritable science au 18^e siècle et, à partir du 19^e, une des industries les plus importantes au monde. C'est à ce stade que les actuels acteurs mondiaux de l'industrie sont nés : BASF, Bayer, DuPont et La Roche. Que ce soit le plastique, les engrais, les détergents ou la médecine, l'industrie chimique fabrique plus de 70 000 produits différents. Sa production mondiale annuelle vaut



🔗 Scène de la catastrophe écologique qui s'est produite en Hongrie, en octobre 2010, tuant neuf personnes. La boue rouge toxique est un déchet issu du processus de production d'aluminium.
© Waltraud Holzfeind/
Greenpeace

un époustouflant 3 600 milliards de dollars américains, selon le Conseil américain de chimie (ACC). Elle a considérablement changé et amélioré nos conditions de vie. Sans elle, la civilisation moderne serait impensable.

Mais après un siècle de réussites, l'industrie chimique, gonflée par une production de masse mécanisée, a causé un nombre croissant de problèmes écologiques. Ses besoins en matières premières et en énergie sont considérables ; la plupart des solvants et des catalyseurs sont toxiques ; les méthodes d'élimination des déchets sont compliquées et coûteuses ; des substances toxiques et cancérigènes sont relâchées dans l'air et dans l'eau. Selon le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), l'Europe de l'Ouest a produit un total de 42 millions de tonnes de déchets toxiques dans la seule année 2000, dont cinq millions ont été exportés en 2001.

Chimie verte

L'élimination inconsidérée des déchets toxiques fut pendant longtemps tolérée ou dissimulée par les politiciens ; l'industrie chimique était trop importante pour l'économie. Mais, à la suite de Bhopal et Seveso, les décideurs politiques se sont vu obligés de réagir : au cours des années 1980 et 1990, les entreprises chimiques ont dû satisfaire des exigences environnementales de plus en plus strictes. Aux États-Unis, par exemple, l'Agence pour la protection de l'environnement (EPA) a adopté en 1990 le *Pollution Prevention Act* qui marque une rupture

dans la politique environnementale. Les procédés de fabrication et les produits devaient être rendus durables, la pollution devait être évitée – la chimie noire commençait tout doucement à devenir verte. « Lorsque l'expression *chimie verte* est née en 1991, on a compris qu'un cadre commun serait souhaitable pour ceux qui désiraient transformer ses principes en réalisations pratiques », dit Paul Anastas, considéré comme le « père de la chimie verte ». Directeur du Centre pour la chimie verte à l'Université de Yale, il travaille aussi pour l'EPA. En 1988, il a publié les *Douze principes de la chimie verte* (*Twelve Principles of Green Chemistry*) avec son collègue Jack Warner. Le premier de ces principes stipule qu'« il est préférable d'éviter de créer des déchets que d'avoir à les traiter ou à les éliminer *a posteriori* ». Un autre principe est qu'il faut trouver des produits inoffensifs pour remplacer les produits chimiques (et les solvants) toxiques. Le dernier jalon sur le chemin menant à la chimie verte a été la directive de l'Union européenne REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*), en 2006. Désormais, ce n'est plus aux autorités de démontrer aux fabricants que les substances qu'ils utilisent sont potentiellement dangereuses. Les rôles sont inversés. Grâce à REACH, quelque 40 000 produits chimiques doivent maintenant être testés.

D'autres objectifs de la chimie verte sont de baisser la consommation d'énergie, d'améliorer l'efficacité des processus de production et de se tourner vers des ressources renouvelables. Après

Depuis les années 1990, l'industrie chimique se convertit au développement durable – améliorant du même coup son image.

tout, l'industrie chimique, elle aussi, dépend du pétrole, puisqu'elle consomme 10 % de la production mondiale de pétrole dans la réalisation de 80 à 90 % de ses produits. Et l'industrie chimique a de grands besoins énergétiques : en 2008, par exemple, elle a consommé en Allemagne quelque 12,5 % de la totalité de la demande nationale d'énergie. Depuis les années 1990, l'industrie se convertit au développement durable – améliorant du même coup son image. BASF, qui, avec des ventes annuelles de 50 milliards d'euros et plus de 100 000 employés, est la plus grande société chimique au monde, mais aussi d'autres géants du secteur, comme DuPont et Dow Chemical, ou encore Bayer, tous veulent devenir plus vert. « À BASF, nous organisons toutes nos activités suivant le principe directeur du développement durable », dit le PDG de BASF, Jürgen Hambrecht. Et il ajoute : « Nous sommes en train de développer des produits qui aident nos clients à économiser l'énergie et les ressources naturelles, tout en améliorant leur qualité de vie ». Ce sont essentiellement des matériaux isolants qui permettent aux propriétaires de maison de baisser les coûts du chauffage et de réduire les émissions de carbone.

BASF publie ses émissions de carbone, pas seulement pour ses propres installations de production, mais également pour tout le cycle de vie de ses produits – ce qui va de l'extraction des matières premières jusqu'au traitement des déchets. Le site web de l'entreprise révèle ainsi que la fabrication des produits BASF a généré en 2010 une émission de quelque 90 millions de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère – ce qui correspond à 10 % des émissions totales de CO₂ en Allemagne. D'ici l'année 2020, BASF veut réduire les émissions de gaz à effet de serre, liées à son activité de production, de 25 % (par rapport à 2002). Mais comme le processus de production n'est responsable que d'une partie du volume total des émissions, cet objectif de réduction ne représente que 7,5 % des émissions totales de BASF.

Néanmoins, Jürgen Hambrecht souligne que les produits de BASF eux-mêmes réduisent les émissions de carbone – ce qui représente au total 287 millions de tonnes de CO₂ par an, soit trois fois ce qui est émis durant leur fabrication, comme l'annonce fièrement le site web de l'entreprise. BASF a aussi promis d'appliquer la directive REACH d'ici à 2015, et de réduire d'ici à 2020 de 70 % la quantité de composés organiques, de composés d'azote et de métaux lourds relâchés dans l'air et dans l'eau. Sur son site Web, BASF prétend avoir déjà atteint ces objectifs. Et l'entreprise est à l'affût de ressources renouvelables : par exemple l'huile de ricin naturelle pour la fabrication de matelas, le plastique biodégradable Ecovio, qui est en

grande partie constitué d'acide polylactique provenant du maïs, etc.

La chimie verte ne se développe pas uniquement en Occident. « Depuis peu, il y a un intérêt croissant pour la chimie verte dans les pays en voie de développement », dit Paul Anastas, qui a participé récemment au Premier congrès panafricain de chimie verte, qui s'est tenu en Éthiopie en novembre dernier [voir encadré]. Selon lui « dans des pays émergents, comme l'Inde et la Chine, la chimie verte a été mise en œuvre dans le monde universitaire, dans les institutions de recherche et dans l'industrie sans doute plus rapidement que n'importe où ailleurs dans le monde ». Il semble que ces pays n'ont pas l'intention de commettre les mêmes erreurs que l'Occident. ■

LA CHIMIE : un dénominateur commun en Afrique

Le Premier congrès panafricain de chimie verte s'est tenu du 15 au 17 novembre 2010 à Addis-Abeba, la capitale éthiopienne. Il fait partie d'une longue série de séminaires, conférences et ateliers à l'échelle du continent, réunissant des experts africains et internationaux sur des thèmes aussi variés que la biodiversité, le développement durable, l'enseignement ou l'eau, ayant pour dénominateur commun : la chimie.

Ce congrès a été organisé par le Réseau panafricain pour la chimie (PACN), lancé en novembre 2007, à l'initiative de la *Royal Society of Chemistry* (RSC) et de *Syngeta*, société suisse spécialisée dans la chimie et l'agroalimentaire. Un an plus tôt, la RSC avait lancé l'initiative *Archive for Africa*, qui donne à un grand nombre d'universités africaines un accès gratuit aux périodiques spécialisés en chimie.

Le PACN est appelé à faciliter la communication entre les chimistes africains et à favoriser ainsi l'innovation et le développement scientifique à travers le continent. Il travaille en partenariat avec la Fédération des sociétés africaines de chimie (FASC), fondée en 2006 avec le soutien de l'UNESCO. Trois centres du réseau ont été mis en place à ce jour : au Kenya, en Éthiopie et en Afrique du Sud. D'autres centres devraient naître au Nigeria et en Égypte.

En octroyant des bourses ou en participant aux frais de déplacement, le réseau facilite la mobilité des chimistes africains, leur permettant d'approfondir leur recherche à l'étranger ou de participer à des congrès internationaux. Ses domaines de prédilection : sécurité alimentaire, biodiversité et prévention des maladies. – J. Š.

[www.rsc.org/Membership/Networking/
InternationalActivities/PanAfrica/](http://www.rsc.org/Membership/Networking/InternationalActivities/PanAfrica/)

Lettre à un jeune chimiste

AKIRA SUZUKI répond aux questions de **Noriyuki Yoshida**, journaliste au *Yomiuri Shimbun*, Tokyo

Le prix Nobel de chimie 2010 a été décerné à l'Américain Richard Heck et aux Japonais Ei-ichi Negishi et Akira Suzuki pour leurs travaux sur la synthèse organique, qui ont permis d'inventer l'un des outils les plus sophistiqués de la chimie, le « couplage croisé ». L'une des pierres angulaires de cet immense édifice scientifique est le « couplage Suzuki », du nom du lauréat que nous avons interviewé. Dans cet entretien Akira Suzuki parle de ses recherches en s'adressant avant tout aux jeunes, qui ont tendance à désertier les champs scientifiques. Il les encourage à se tourner vers la chimie, pour en faire une science nouvelle.



Akira Suzuki, à Tokyo, en novembre 2010.
© Yomiuri Shimbun

À quoi peut servir le couplage croisé ?

Je vais vous donner un exemple que vous allez comprendre tout de suite. Après l'annonce du prix Nobel, j'ai eu une telle demande d'interviews que ma tension artérielle a sensiblement augmenté ! Mon médecin m'a prescrit un hypotenseur et le pharmacien m'a expliqué que ce médicament avait été synthétisé par « couplage Suzuki ». Le procédé est également utilisé pour la fabrication de certains antibiotiques, ainsi que de médicaments de traitement du cancer et du sida.

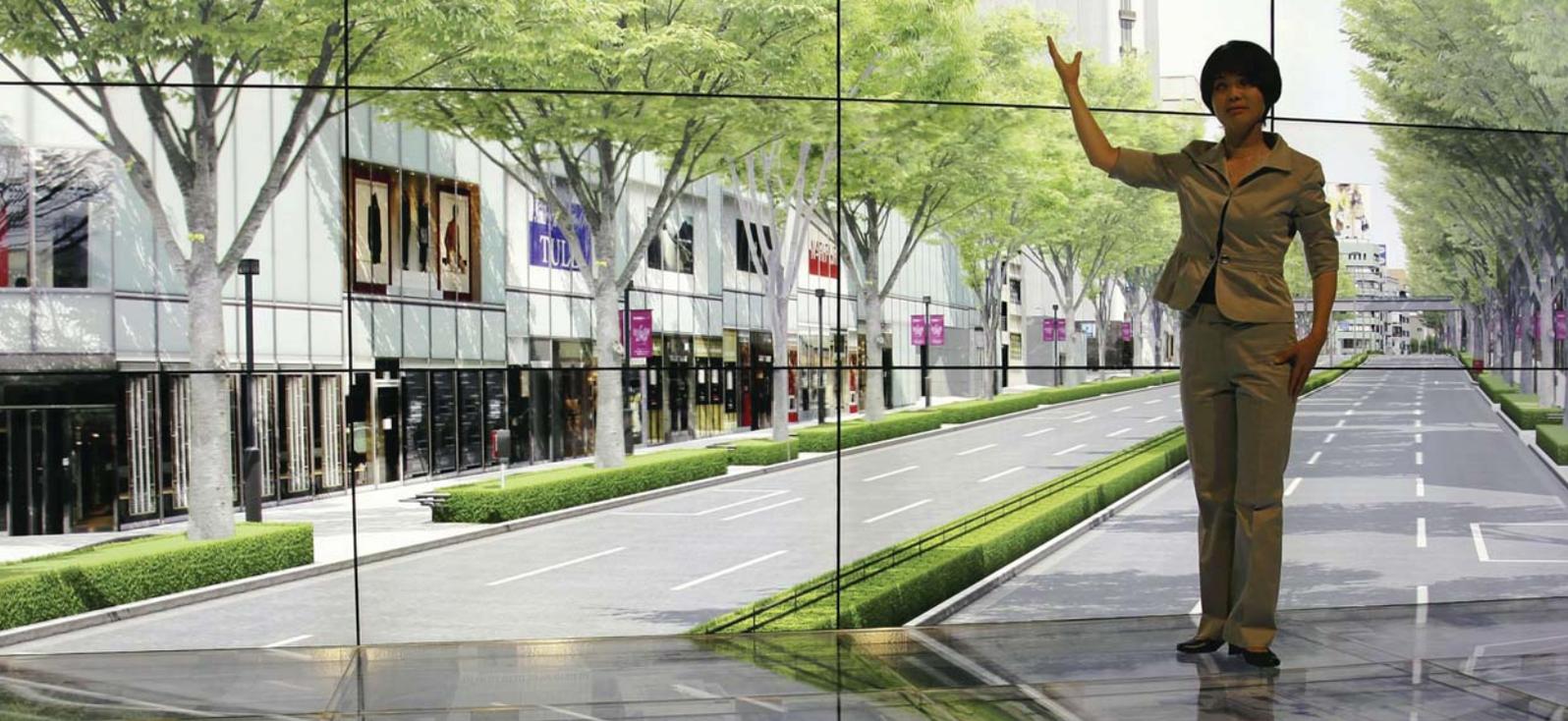
Dans le domaine des systèmes informatiques et de communication, on se sert de ce procédé pour la synthèse des cristaux liquides nécessaires aux écrans de télévisions ou d'ordinateurs, ou aux afficheurs à électroluminescence organique fréquemment présents dans les petits appareils comme les téléphones portables, par exemple.

Combien de temps vous a-t-il fallu pour mettre au point cette méthode ?

La découverte de la réaction de couplage n'a pris que deux ou trois ans, à la fin des années 1970. Mais j'ai travaillé sur la chimie du bore, métalloïde se rapprochant du carbone, depuis 1965, date de mon retour des États-Unis, après mes études à l'Université de Purdue. C'est donc le résultat de plus de 10 ans de recherches.

Quelle a été la réaction de votre entourage, lorsque vous avez commencé à travailler dans ce domaine ?

Dans l'ensemble, on considérait que les chances de succès étaient nulles. C'est aussi pour cela qu'il y avait très peu de chercheurs dans ce domaine, à l'échelle mondiale. Mais moi, je suis de nature optimiste et j'ai pensé que les inconvénients pourraient devenir des avantages. Je me suis dit qu'en surmontant les difficultés, il serait possible de mettre au point un procédé de synthèse stable et facile à utiliser.



On dit souvent que la chance joue un grand rôle dans la recherche. Qu'en pensez-vous ?

Quand on commence une recherche, il ne faut pas compter sur le hasard. Elle doit être avant tout rationnelle. Il est important de bien analyser les succès et les échecs des expériences et d'en tenir compte dans la phase suivante. C'est ensuite que la chance peut intervenir. Tout le monde peut avoir de la chance. Mais pour la faire venir, il faut être attentif, faire des efforts et rester modeste devant toute chose.

Enfant, étiez-vous passionné par la science ?

Je suis né dans la petite ville de Mukawa, au sud de Sapporo (Hokkaido). Cette ville s'appelle aujourd'hui Shishamo. Du temps de l'école primaire, j'étais un enfant tout à fait comme les autres – j'aimais aller pêcher avec les copains ou jouer au baseball. À l'époque, les *juku* [écoles privées proposant des cours le soir] n'existaient pas. Les enfants étaient libres et pleins d'entrain. Je n'étais pas spécialement intéressé par la science, mais au collège, j'aimais bien les mathématiques. Avec le recul, je pense que j'aimais bien les choses claires.

Qu'est-ce qui vous a fait choisir la chimie à l'université ?

Je suis entré à l'Université de Hokkaido pour y étudier les mathématiques. Mais à un cours de chimie, je suis tombé sur un manuel que j'ai lu et qui m'a fait grand effet. L'auteur était un professeur de chimie organique de l'Université de Harvard. J'ai eu un mal fou à le lire en anglais, mais je l'ai trouvé très intéressant. Et, j'ai fini par oublier les mathématiques.

Au cours de mes études de chimie, j'ai été très influencé par le professeur Harusada Sugino, qui

Les découvertes d'Akira Suzuki permettent d'optimiser la lumière bleue dans les diodes électroluminescentes organiques présentes dans les écrans plats. Ici, un écran produit par Sharp.
© Yomiuri Shimbun

« Je ne puis que formuler une fois de plus le vœu que vous trouviez assez de patience en vous-même pour supporter, et assez de simplicité pour croire. »

– Lettres à un jeune poète, Rainer Maria Rilke

m'a appris pourquoi la chimie était importante et à quoi elle servait. Il faut dire que le professeur Sugino ne s'intéressait pas seulement à la chimie. Il était recteur de l'Université de Hokkaido, mais aussi président de la Commission nationale du Japon pour l'UNESCO !

Entre 1963 et 1965, vous avez étudié aux États-Unis. À l'Université de Purdue, vous avez suivi les cours de Herbert Charles Brown, prix Nobel de chimie 1979, dont Ei-ichi Negishi a également été l'élève.

Lorsque j'avais la trentaine, j'étais professeur assistant à l'Université de Hokkaido, et il fallait me trouver un domaine de recherche. Je suis entré dans une librairie de Sapporo et j'ai regardé les livres qui parlaient de chimie. Mon regard est tombé sur un ouvrage avec une couverture noire et rouge – on aurait dit un livre de littérature – et je l'ai pris dans mes mains. C'était un livre du professeur Brown. Il était si intéressant que j'ai passé des nuits entières à le lire. J'ai écrit une lettre au professeur en lui disant que je voulais étudier avec lui et c'est ainsi que je suis parti aux États-Unis.

Aux États-Unis, j'étais un post-doc, mais mon salaire était quatre fois supérieur à celui d'un professeur assistant au Japon. Et puis la viande et l'essence étaient très bon marché... J'ai vraiment ressenti la différence entre les deux pays. Il y avait de nombreux chercheurs étrangers et j'ai pu me faire beaucoup d'amis. Ces échanges que j'ai eus avec eux m'ont donné accès à des mondes que je ne connaissais pas. Lorsqu'on est entre Japonais, on peut se comprendre sans se parler, mais j'ai appris que, lorsqu'on est plongé dans une autre culture, il faut parler beaucoup pour pouvoir se comprendre. J'ai aussi appris l'anglais. Je recommande aux jeunes d'aller à l'étranger, sans hésiter. On y apprend beaucoup de choses, et pas seulement sur le plan professionnel et dans sa spécialité.

Qu'avez-vous appris du professeur Brown en dehors de vos recherches ?

Le professeur Brown disait souvent : « Faites un travail qui soit digne d'un cours ». Cela voulait dire quelque chose de nouveau, qui puisse être publié dans un cours. Et qui puisse être utile, aussi. Ce n'est pas facile. Mais j'ai fini, moi aussi, par dire à mes étudiants de ne pas « nettoyer la boîte à repas avec un cure-dents », expression japonaise qui signifie : ne pas s'attacher aux détails inutiles. Je leur dis, au contraire, de la remplir avec leurs propres produits.

Existe-t-il une méthode de travail qui garantit le succès ?

Même si elle existait, on ne pourrait pas demander à quelqu'un de l'adopter. Chacun a ses qualités et tout ce qu'il peut faire, c'est de les mettre à profit. Dans mon cas, je crois que c'était l'optimisme. Lorsque les expériences ne marchaient pas bien, j'allais boire un coup et me détendre avec les étudiants et, le lendemain, je pouvais reprendre mes expériences avec un esprit neuf.

D'après vous, que faut-il faire pour accroître l'intérêt des nouvelles générations pour la chimie ?

Les jeunes s'éloignent de la science et c'est un grave problème. Ce phénomène est particulièrement net au Japon. La seule chose qu'on puisse faire dans un pays dépourvu de ressources naturelles comme le nôtre, c'est de créer de nouvelles choses à force d'ingéniosité.

C'est aux jeunes et à eux seuls qu'il revient de trouver leur espoir et leur idéal dans la science. Mais je souhaite apporter mon soutien en tant qu'« ancien ». Grâce à ce prix Nobel, le mot « couplage croisé » commence à être connu même des enfants. La diffusion et la vulgarisation de la science sont pour moi une grande source de motivation.

D'après vous, quels liens aurons-nous avec la chimie dans le futur ?

La chimie n'a pas beaucoup la cote en ce moment. Elle est identifiée aux mauvaises odeurs, à la saleté, elle peut inspirer de l'aversion. Il en était déjà ainsi lorsque nous étions jeunes, mais à cette époque, la pétrochimie était en plein essor et de nombreux étudiants avaient choisi cette voie.

Aujourd'hui, certains voient la chimie exclusivement comme une industrie polluante, mais c'est une erreur. Sans elle, la productivité baisserait et nous ne pourrions pas avoir la vie que nous connaissons aujourd'hui. S'il y a pollution, c'est parce qu'on rejette à l'extérieur des produits nocifs. Il faut, bien entendu, adapter les traitements et la gestion, travailler au développement de

substances chimiques et de procédés de synthèse qui respectent l'environnement.

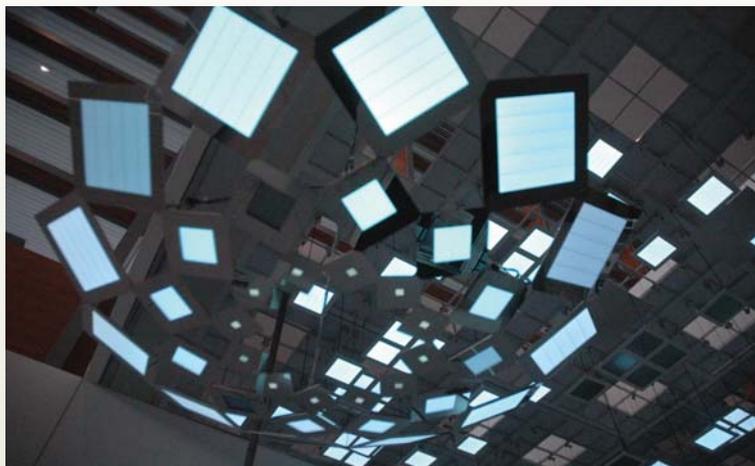
La chimie est indispensable au développement du Japon, comme à celui du monde. Je souhaite que les jeunes étudient la chimie, avec l'idée de créer une nouvelle science. De nombreuses découvertes et de nombreux développements ont eu lieu jusqu'à présent, et un nombre incalculable de substances ont été fabriquées. La chimie restera toujours aussi importante dans les années à venir.

Dans quels domaines les développements de la chimie organique seront-ils nécessaires à l'avenir ?

Comme le dit aussi le professeur Negishi, je pense qu'il faudra s'orienter vers l'industrialisation de la photochimie, basée sur le dioxyde de carbone comme l'est la photosynthèse des plantes. Le rendement énergétique obtenu dans ce secteur est encore faible. La nature produit des composés organiques complexes à partir du dioxyde de carbone, en utilisant la lumière solaire comme source d'énergie. En plus, ces réactions se produisent dans le domaine de température où nous vivons, dans un environnement où l'eau existe. J'espère que nous parviendrons à élucider ces mécanismes et à les appliquer.

Je recommande aux jeunes d'aller à l'étranger, sans hésiter.

On y apprend beaucoup de choses, et pas seulement sur le plan professionnel et dans sa spécialité.



2011 a été proclamée Année internationale de la chimie. Avez-vous un message à adresser à cette occasion aux lecteurs du *Courrier de l'UNESCO* qui vivent aux quatre coins du monde ?

La chimie joue un rôle très important dans notre vie. La plupart des spécialités et des technologies chimiques sont destinées à la fabrication de produits qui visent le bien-être de l'humanité. Le nombre de substances fabriquées dans le monde est considérable et personne ne le connaît exactement, mais la quasi-totalité de ces substances sont des composés organiques. C'est pourquoi la chimie organique est une des branches les plus importantes de cette science qui mérite qu'un nombre croissant de personnes s'y intéressent et contribuent à son développement. ■

🔗 *L'affichage électroluminescent organique (OLED) constitue l'une des nombreuses applications du « couplage Suzuki ».*
© Yomiuri Shimbun

Chimistes en herbe autour du globe

À l'occasion de l'Année internationale de la chimie (AIC 2011), *Le Courrier de l'UNESCO* s'est intéressé aux jeunes qui ont décidé de faire des études de chimie. Nous avons lancé une enquête auprès des étudiants inscrits dans le réseau de l'AIC 2011. Pour la grande majorité d'entre eux, la chimie est bien plus qu'une vocation professionnelle : elle est une passion.

Vive le recyclage !

Mon nom est Ana Alejandra Apaseo Alaniz. J'ai 19 ans et je suis étudiante à l'Université de Guanajuato à Mexico. Je dois dire que j'ai voulu faire une licence de chimie pour comprendre un peu mieux le monde qui m'entoure. Ce qui me plaît, c'est que la chimie peut s'appliquer à tous les domaines. Quand j'étais petite, j'adorais faire bouillir des plantes et voir quel goût elles avaient... je me suis démoli l'estomac plus d'une fois ! Mais c'est ça qui m'amuse : chercher.

Je m'intéresse surtout à la chimie organique et à ses applications. Un projet que j'aimerais beaucoup réaliser pendant l'Année internationale de la chimie, c'est le développement d'un procédé qui nous permettrait de recycler les produits fabriqués avec du polystyrène.

Côté professionnel, je compte lancer un projet axé sur la création de composés organiques d'usage courant dans les laboratoires et l'industrie chimique, à partir de matériaux recyclés.

Ana Alejandra Apaseo Alaniz (Mexique)



© Ana Alejandra Apaseo Alaniz

J'ai choisi la chimie sans hésitation

Je m'appelle Somnath Das, j'ai 21 ans. Je suis en master 2 de sciences à l'Institut indien de technologie de Kanpur, dans l'Uttar Pradesh.

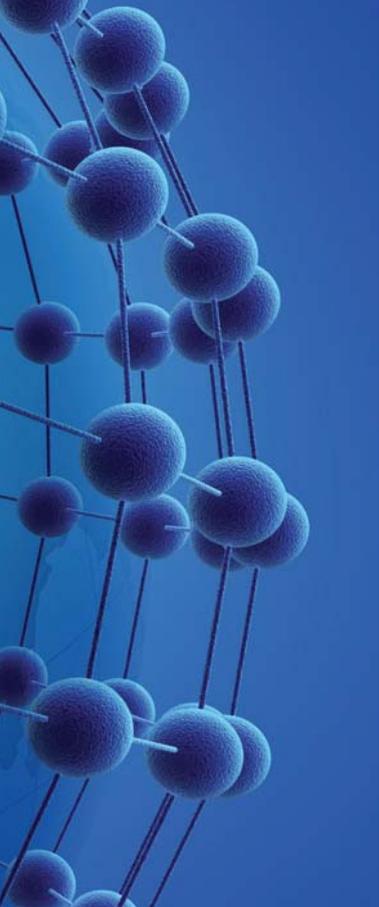
Après l'examen de fin d'études secondaires, à l'entrée à l'université, on nous a demandé de choisir notre spécialité entre trois matières pour la licence : physique, chimie, maths. J'ai choisi sans hésitation la chimie. Je me demandais comment on pouvait manipuler les molécules, alors qu'elles sont invisibles à l'œil nu. Je voulais connaître leur comportement, leurs réactions... J'ai donc choisi la chimie pour mieux connaître le monde moléculaire.

Tout me plaît dans la chimie, sauf quand il n'y a pas d'explication théorique à une réaction. Par exemple, dans la plupart des réactions utilisant des environnements chiraux, un des deux énantiomères est prépondérant. La plupart du temps, on n'arrive pas à expliquer cette sélectivité, sauf dans quelques rares cas où on dispose d'un modèle. Parmi trois grandes disciplines, c'est de loin la chimie organique que je préfère, et c'est dans ce domaine que je voudrais faire de la recherche.

Somnath Das (Inde)



© Sougata Maity



La sagesse de la vigilance

Je suis née en 1981 à Chiraz, la capitale culturelle de l'Iran. J'ai grandi dans une famille adorable et très unie. J'étais déjà curieuse à l'école élémentaire, j'ai donc choisi les sciences expérimentales au collège, et là, j'ai pu développer mon talent pour la chimie. J'ai été très triste d'apprendre qu'il n'existait pas vraiment de traitement pour le cancer, les blessures causées par les armes chimiques et beaucoup d'autres maladies graves. C'est ce qui m'a poussée à choisir la chimie pour mes études universitaires. Je souhaiterais synthétiser de nouvelles molécules. En 1999, j'ai été acceptée en licence de chimie pure à l'Université de Yasuj. Là, j'ai compris que la chimie était partout dans notre environnement. En 2006, j'ai entamé un doctorat de chimie des polymères à l'Université de Chiraz.



© Fatemeh Farjadian

© DR

« Tout le monde peut avoir de la chance. Mais pour la faire venir, il faut être attentif, faire des efforts et rester modeste devant toute chose... »

« C'est aux jeunes et à eux seuls qu'il revient de trouver leur espoir et leur idéal dans la science. »

– Akira Suzuki

La chimie m'apporte la sagesse de la vigilance, qui imprègne tous les aspects de ma vie. Ce que je trouve vraiment insupportable, c'est que les gouvernements et les gens en général se préoccupent si peu des effets secondaires de la chimie industrielle : la pollution, le réchauffement de la Terre, les maladies, etc... Tout ça devrait être passé au crible par les scientifiques.

En 2011, je vais prendre une année sabbatique en Allemagne, à l'Université de Duisburg, et travailler sur un projet de membranes de synthèse, très employées, par exemple, pour l'élimination sélective des impuretés dans différents milieux. Ce que j'espère, c'est qu'à la fin de mon doctorat, je pourrai travailler au sein d'une société de chimie sur des projets qui aident à lutter contre la pollution.

Fatemeh Farjadian (Iran)

La chimie est la « science mère »

Je m'appelle Kufre Ite. J'ai 28 ans. À la fin de cette année, je dois terminer mon master de chimie analytique à l'Université d'Uyo. Au collège, nous avons un cours d'« introduction aux technologies », c'est ce qui a attisé ma



© Avec l'aimable autorisation de Research Link Nigeria

curiosité pour les sciences. Par la suite, je me suis orienté vers la chimie parce que les principes de cette science sont à la base de toutes les sciences naturelles et appliquées. Elle est « la science mère ». La chimie est attentive à la nature, elle recrée la nature. J'ai été très inspiré par cette devise de la Société nigérienne de chimie : « Y a-t-il quoi que ce soit autour de nous qui ne soit pas de la chimie ? ». Parce que tout le monde profite au quotidien de ses applications pratiques, à commencer par le savon dont nous nous servons pour nous laver et laver nos vêtements. J'aime aussi beaucoup la méticulosité et la précision des chimistes.

Pour l'AIC 2011, j'ai choisi comme sujet « les chimistes dans la société modernisée ». Je voudrais sensibiliser des entreprises locales et moyennes sur les problèmes de sécurité au travail et de manipulation, de stockage et de transport des produits chimiques et des réactifs. Cela permettra au public de mieux comprendre le rôle de la chimie dans les secteurs public et privé de notre économie.

Kufre Ite (Nigéria)

N'oublions pas les éprouvettes !

J'ai 21 ans et je prépare un diplôme d'ingénieur en chimie appliquée à la Faculté de génie et de technologie chimiques de l'Université de Zagreb, en Croatie. Chez moi, c'est clair que l'étude de la chimie découle de mon histoire d'amour avec la nature depuis que je suis tout petit. J'aime le caractère pluridisciplinaire de mes cours, mais beaucoup moins l'énorme influence des ordinateurs, qui nous éloigne de l'approche expérimentale traditionnelle. Bien sûr, je suis conscient qu'ils ont aussi de nombreux avantages. Quand j'aurai mon diplôme, j'espère poursuivre en doctorat, en Croatie ou à l'étranger, et me perfectionner dans les polymères. Pour célébrer l'AIC, j'aimerais vulgariser la chimie à travers des expériences à la fois simples et passionnantes qui expliquent les phénomènes que nous avons autour de nous.

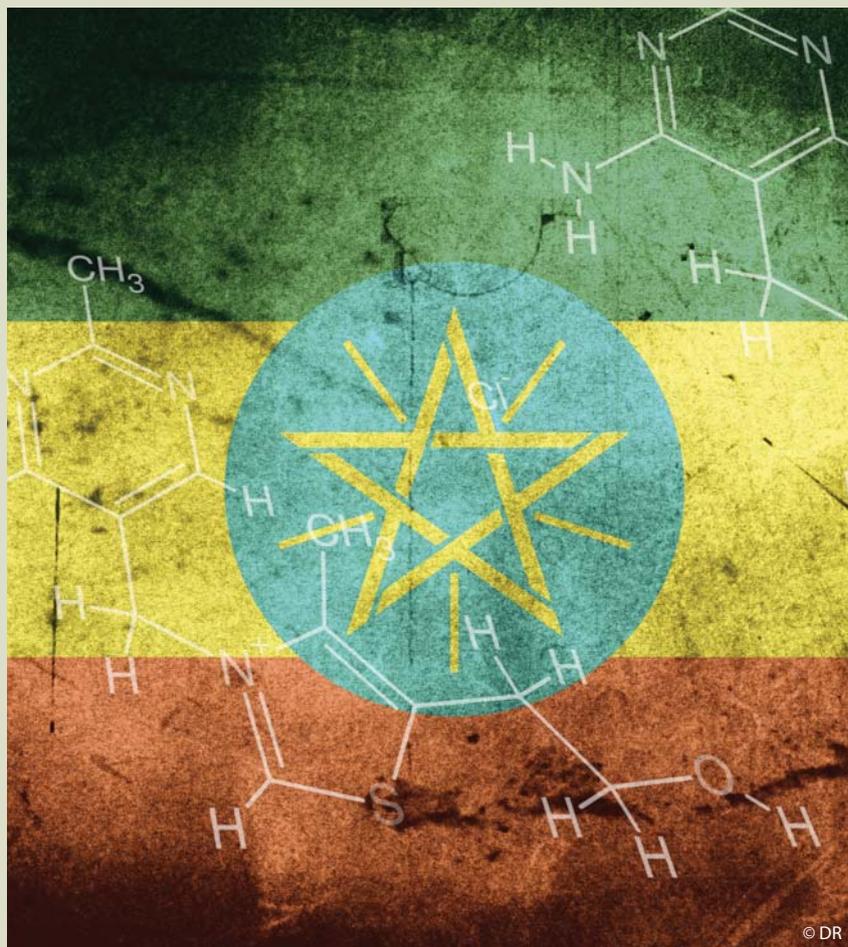
Marko Viskic (Croatie)



© Morten Aalbak Christensen

Étudier la chimie en Éthiopie

Shimalis Admassie



© DR

Depuis 1950 l'enseignement universitaire éthiopien s'efforce de répondre aux besoins du pays en chimistes de haut niveau. En 17 ans, d'une simple unité du *University College of Addis-Abeba* il est devenu un département à part entière de l'Université Hailé Sélassié I^{er}, délivrant une licence de chimie. En 1978 le département a créé un programme de master en science dans quatre domaines de la chimie : analytique, inorganique, organique et physique. Enfin, un programme de doctorat a été mis sur pied en 1985.

Aujourd'hui, le département de chimie emploie 27 universitaires et huit techniciens. Cette année, 1 121 étudiants sont inscrits en licence, 81 en master et 45 en doctorat. Le département se consacre à l'analyse et la détection de traces de métaux lourds [voir page 21], à l'étude des biosenseurs, à la chimie des produits naturels, à la chimie verte, à l'électrochimie, à la chimie numérique et à bien d'autres domaines de cette science complexe.

Sur une surface de quelque 2 800 m², les bâtiments du département sont équipés de 25 laboratoires et de 13 salles annexes. Les produits chimiques et le matériel sont stockés dans des espaces occupant plus de 700 m² supplémentaires. Parmi les instruments les plus sophistiqués qui servent autant à la recherche qu'à la formation, citons

un spectromètre RMN 400 MHz, un chromatographe en phase liquide à haute performance, un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier, un spectroscopie ultraviolet-visible et un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse.

L'image globale du département est plutôt positive, mais il reste néanmoins un bon nombre de défis à relever : mesures de sécurité inadéquates, nombre d'étudiants trop important, laboratoires inadaptés à la formation du premier cycle, manque de personnel administratif, prix prohibitifs des produits chimiques et des équipements scientifiques. La plupart des travaux de recherche s'effectuent grâce au financement très limité que le département reçoit de l'Université. Seuls quelques programmes sont financés par

des organismes étrangers : l'Agence suédoise de coopération internationale pour le développement (SIDA/SAREC), le Programme international pour les sciences chimiques (IPICS), les Partenariats pour le développement dans l'enseignement supérieur (DelpHE) du British Council et la Fondation internationale pour la science (IFS).

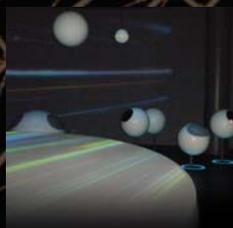
L'absence de centre d'analyse des données dans nos locaux est une autre source de problèmes. Très souvent, nous sommes obligés d'envoyer des échantillons à l'étranger pour analyse, ce qui génère des retards importants pour les étudiants dont les recherches doivent être réalisées en un temps limité. ■

Shimalis Admassie est directeur du département de chimie à l'Université d'Addis-Abeba, en Éthiopie.



Sciences sans frontières

Le Rapport sur la science 2010, lancé par l'UNESCO en novembre dernier, fait état des nouvelles tendances de la recherche et de la coopération scientifiques à l'échelle mondiale. Il met notamment en relief le développement accru de partenariats, qui forgent des alliances non seulement dans le domaine scientifique, mais aussi dans la sphère diplomatique. – p. 46



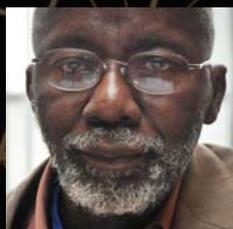
L'UNESCO et le CERN : une histoire d'atomes crochus

L'idée de créer un Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN) a été entérinée à la cinquième session de la Conférence générale de l'UNESCO, en 1950. Depuis 60 ans, ces deux organisations s'efforcent de faciliter l'accès au savoir scientifique et de promouvoir la coopération scientifique. Rencontre avec Rolf-Dieter Heuer, Directeur général du CERN. – p. 48



Passeurs de cultures

Depuis toujours, les cultures s'entremêlent et interagissent, donnant naissance à de nouvelles cultures hybrides. Pourtant, elles ont aussi tendance à rejeter les cultures voisines. En s'appuyant sur le cas des cultures nord-américaine et arabo-musulmane, Stephen Humphreys met en relief le rôle de la littérature et des arts comme moyens privilégiés de rapprochement. – p. 51



La seconde vie de Touki Bouki

Promouvoir les films africains, soutenir les réalisateurs, sauvegarder le patrimoine cinématographique de son continent – telles sont les objectifs du réalisateur malien Souleymane Cissé, un grand défenseur des langues nationales. Il a fondé en 1997 l'Union des créateurs et entrepreneurs du cinéma et de l'audiovisuel de l'Afrique de l'Ouest (UCECAO). – p. 53

« Le Globe Symbolique »
d'Erik Reitzel (Danemark),
au siège de l'UNESCO.
© UNESCO/Michel
Ravassard

« De plus en plus, dans les années à venir, la diplomatie internationale prendra la forme d'une diplomatie scientifique ».

Irina Bokova

Sciences sans frontières

S'il est un domaine où la mondialisation semble faire du bien, c'est celui de la recherche. Des partenariats se développent partout, forgeant des alliances scientifiques, voire diplomatiques, entre des pays souvent très éloignés et disposant de potentiels inégaux. Travailler ensemble, c'est mieux exploiter les compétences de chacun, gagner du temps et économiser de l'argent. Quelques exemples du Rapport de l'UNESCO sur la science 2010.

Par **Susan Schneegans**, rédactrice en chef du Rapport de l'UNESCO sur la science 2010



Image prise par le satellite CBERS-2, le 10 avril 2005, montrant Florianópolis, la capitale de l'État de Santa Catarina au sud du Brésil.

5 juin 1999. Le satellite Student Tracked Atmospheric Research Satellite for Heuristic International Networking Experiment (STARSHINE) quitte la soute de la navette spatiale Discovery au bout de 10 jours de mission STS-96. Ce satellite, recouvert de centaines de miroirs qui réfléchissent la lumière solaire, a pour mission d'aider les élèves à étudier les effets de l'activité solaire sur l'atmosphère terrestre.
© NASA/courtesy of nasaimages.org

La version complète de cet article est publiée dans la revue *Planète Science*, Janvier-Mars, 2011.

En 2012, les stations au sol d'Afrique du Sud, des îles Canaries (Espagne), d'Égypte et du Gabon recevront les données transmises par le satellite d'observation terrestre CBERS, mis sur orbite par la Chine et le Brésil : ce sera le troisième lancé par le partenariat sino-brésilien depuis 1999. Jusqu'ici, l'accès aux images d'une Terre en évolution était réservé aux seuls usagers chinois et latino-américains, soit, depuis 2004, un bon million et demi de personnes. Grâce à l'initiative africaine du CBERS, un nouveau

continent s'ajoute à la liste des bénéficiaires. Un satellite gravitant autour du globe ignorant les frontières, il semblait logique que les pays se trouvant sur sa trajectoire puissent en profiter, grâce aux partenariats. Après la guerre des étoiles du siècle passé, voici la « diplomatie des étoiles ».

Cet exemple tiré du Rapport de l'UNESCO sur la science 2010 illustre une tendance montante : celle de la collaboration internationale dans l'application des technologies spatiales à la gestion de



l'environnement. Elle naît de l'inquiétude croissante devant la dégradation de l'environnement et le changement climatique. En reconnaissant que la terre, l'eau et l'atmosphère ne font qu'un, on a enfin compris que le partage de données entre pays et continents était crucial pour comprendre et gérer la planète. La « diplomatie des étoiles » est donc motivée, entre autres, par ce besoin commun.

Mais elle n'est qu'un sous-ensemble d'un plus vaste phénomène : le nouvel essor de la diplomatie scientifique. Les perspectives sont nombreuses : santé, technologies de l'information et de la communication, énergies propres... Le Soudan a ainsi inauguré en juin 2009 sa première usine de biocarburants, construite en coopération avec la société brésilienne Dedini. Un second projet soudanais, fruit d'une collaboration avec l'Égypte pesant 150 millions de dollars, produit, selon le Rapport, « des biocarburants de deuxième génération à partir de cultures non alimentaires, dont des déchets agricoles comme la paille de riz, les tiges et les feuilles de rebut ».

En 2003, le Pakistan et les États-Unis ont signé un accord pour le « financement d'un fonds commun géré conjointement par la National Academy of Science, aux États-Unis, et la Commission de l'enseignement supérieur, ainsi que le ministère des Sciences et des Technologies, au Pakistan », note Tanveer Nair, qui, en tant que présidente du Conseil pakistanais des sciences et des technologies, a joué un rôle clé dans la signature de l'accord. « Chaque année, nous encourageons les projets de collaboration scientifique, à condition que figurent au moins un Américain et un Pakistanais parmi les principaux postulants », explique-t-elle. « Un examen collégial dans les deux pays permet de sélectionner les meilleurs. Cela a renforcé les capacités des laboratoires pakistanais », dit-elle, « et même de découvrir, ensemble, un vaccin contre une maladie mortelle causée par les tiques, qui décimait les bergers du Sind, dans le sud du pays ».

Partager les coûts

Partout dans le monde, les pays nouent des partenariats scientifiques, technologiques et d'innovation destinés à forger des alliances politiques et renforcer leur présence sur la scène internationale. Mais ces unions sont aussi dictées par le

désir plus terre-à-terre de partager les ressources, face aux coûts exponentiels de l'infrastructure scientifique : un récent projet international de création d'une source d'énergie propre à partir de la fusion nucléaire affiche une facture prévue de 10 milliards d'euros. C'est « le projet de collaboration scientifique le plus ambitieux jamais conçu », note le consultant Peter Tindemans, ancien coordonnateur des politiques scientifiques et de recherche des Pays-Bas. Ce Réacteur expérimental thermonucléaire international (ITER) sortira de terre à Cadarache (France) d'ici 2018.

L'entrée dans ce partenariat, aux côtés des pouvoirs scientifiques traditionnels (Japon, États-Unis, Fédération de Russie, Union européenne), de la Chine, de l'Inde et de la République de Corée témoigne de la montée en puissance économique et technologique de ces pays. La Chine devrait « supporter 9,09 % des coûts de construction, un investissement de plus d'un milliard de dollars », écrit dans le Rapport Mu Rongping, directeur du Centre d'innovation et de développement de l'Académie des sciences chinoise. « Un millier de scientifiques chinois participeront au projet ITER, la Chine étant chargée de développer, installer et tester 12 de ses composants », précise-t-il.

De nouveaux marchés en perspective

Le secteur commercial n'a pas tardé à mesurer les avantages de ces collaborations. Outre le partage des coûts, les consortia internationaux offrent une occasion tentante de conquérir de nouveaux marchés. Le succès écrasant du consortium Airbus provient de la fusion des constructeurs aéronautiques de quatre pays – Allemagne, Espagne, France et Royaume-Uni – un brillant exemple de coopération paneuropéenne.

Deux décennies après la disparition du Rideau de fer, la Fédération de Russie voit gonfler le volume de contrats commerciaux et de partenariats scientifiques et technologiques avec des sociétés étrangères. En 2010, le français Alcatel-Lucent RT et l'entreprise d'État Rostekhnologii ont investi conjointement dans le développement, la production et la commercialisation d'équipements télécoms pour le marché russe et les pays de la Communauté d'États indépendants, tandis que la société américano-russe IsomedAlpha

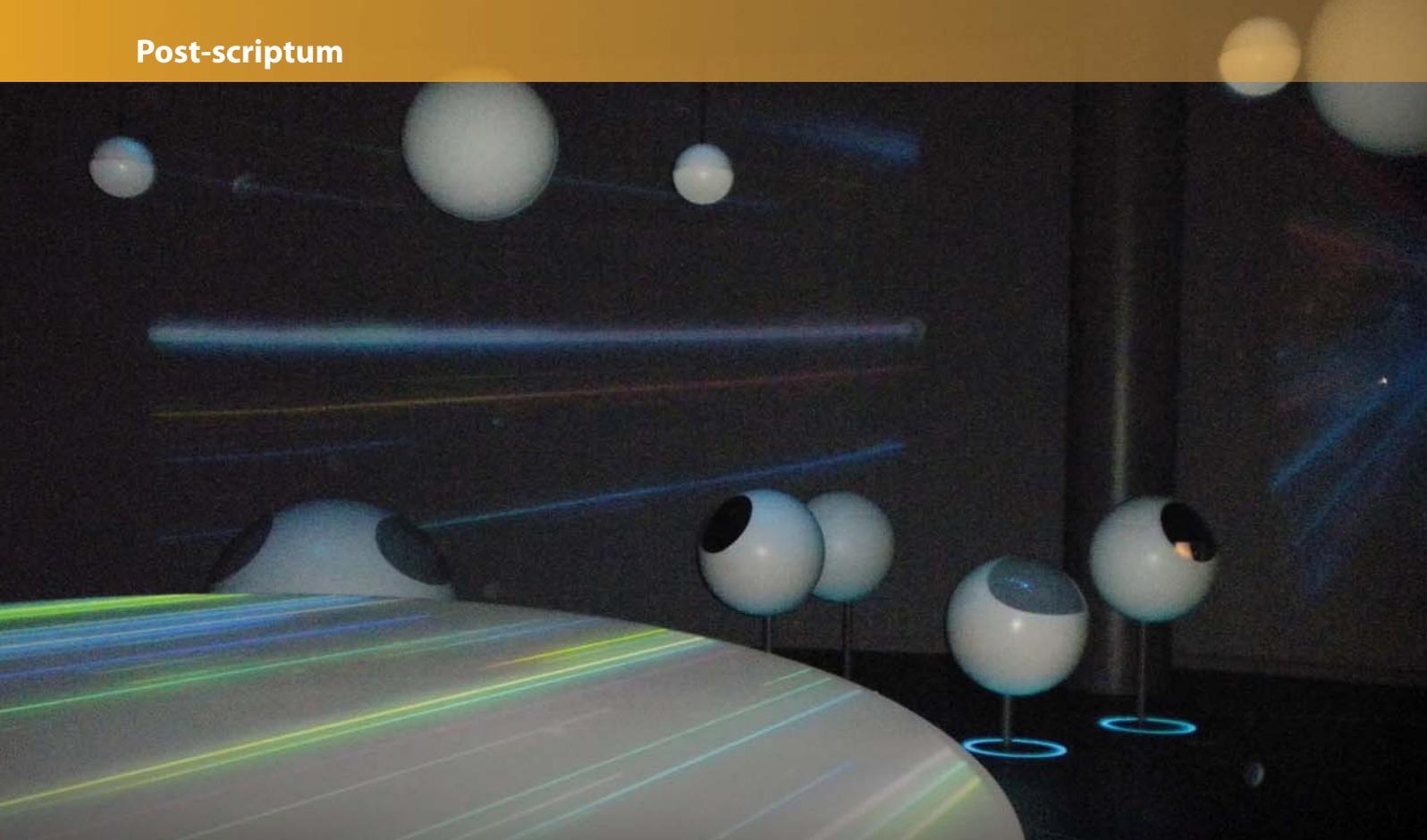
se lançait dans la production d'appareils médicaux dernier cri comme les tomographes informatiques.

Partenariats d'écriture

Mais il n'y a pas que la géopolitique ou les considérations financières. L'essor de la collaboration scientifique internationale doit aussi beaucoup, ces derniers temps, au développement des nouvelles technologies de la communication : de 2002 à 2008, la proportion d'utilisateurs d'Internet est passée de 11 % à 24 % de la population mondiale. Dans les pays en développement, elle a progressé de 5 % à 17 %.

Si ces dernières années ont vu un déferlement des publications conjointes, on assiste aussi à la diversification géographique des cosignatures de recherche. Entre 1998 et 2008, la Chine est devenue le troisième grand partenaire de l'Australie dans les publications scientifiques, après ses collaborateurs traditionnels, les États-Unis et le Royaume-Uni. Aux Philippines, les États-Unis et le Japon gardent la tête, talonnés par la Chine. Cette dernière est le partenaire numéro un des chercheurs malais, devant le Royaume-Uni et l'Inde. Il semble que le rôle croissant de la Chine et de l'Inde dans les publications scientifiques conjointes, corollaire de leur montée en puissance sur la scène mondiale, redessine déjà le paysage scientifique de l'Asie du sud-est.

Les proches voisins ne font pas toujours les meilleurs partenaires. L'Inde, l'Iran et le Pakistan publient 20 % à 30 % de leurs articles scientifiques en collaboration, mais d'abord avec des chercheurs occidentaux : 3 % seulement sont domiciliés en Asie du Sud. Au Brésil, où la collaboration scientifique internationale se maintient depuis cinq ans autour de 30 % du total, « les chercheurs américains sont nos principaux interlocuteurs », constatent Carlos Henrique de Brito Cruz et Hernan Chaimovich, respectivement directeur scientifique à la Fondation pour la recherche de São Paulo et PDG de la Fondation Butantan (Brésil). Ils pointent une étude de 2009 selon laquelle « entre 2003 et 2007, 11 % des articles scientifiques brésiliens étaient cosignés au moins par un scientifique américain et 3,5 % par un britannique. Argentins, Mexicains et Chiliens confondus représentaient à peine 3,2 % des cosignataires d'articles brésiliens ». ■



L'UNESCO et le CERN : une histoire d'atomes crochus

Promouvoir la coopération scientifique, rendre l'enseignement des sciences plus attrayant, faciliter l'accès au savoir scientifique en vue de construire un monde plus juste, tels sont les objectifs communs poursuivis par l'UNESCO et l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire, qui a gardé son acronyme historique : le CERN. Les deux organisations sont étroitement liées depuis 60 ans.

Jasmina Šopova rencontre ROLF-DIETER HEUER, Directeur général du CERN

Peu de gens se souviennent que l'idée de créer un Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN) a été entérinée à la cinquième session de la Conférence générale de l'UNESCO, en 1950, à Florence (Italie). À cette époque, le monde se rétablissait des blessures encore récentes de la Seconde guerre mondiale. Les intellectuels, hommes de culture et scientifiques européens l'avaient compris : la coopération était un outil-clé pour la reconstruction de la paix. Il fallait réunir autour d'un même projet des chercheurs européens venant à la fois de pays alliés et de ceux ayant appartenu à l'Axe.

Le projet de Florence allait entrer en vigueur trois ans plus tard, avec la signature de la convention finale portant création du CERN (le « Conseil » s'étant métamorphosé en « Centre »). La convention allait être ratifiée par 12 pays en 1954 et la première pierre du bâtiment, posée en 1955, près de Genève (Suisse).

Aujourd'hui, les bâtiments de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire, qui a gardé son

1. Allemagne, Belgique, Danemark, France, Grèce, Italie, Norvège, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Yougoslavie.

acronyme historique, abritent dans leur sous-sol le plus grand accélérateur de particules du monde. D'une circonférence de quelque 27 kilomètres, le Grand collisionneur de hadrons (LHC) est un gigantesque instrument qui contient un total de 9 300 aimants.

Le 30 mars 2010, une nouvelle du CERN avait défrayé la chronique dans le monde entier : LHC a réussi la première expérience de collision de faisceaux à une vitesse proche de celle de la lumière. « Avec cette expérience, nous nous sommes rapprochés à une fraction de seconde du Big Bang ! », explique Rolf-Dieter Heuer, Directeur général du CERN. « C'est une nouvelle étape qui ouvre des perspectives insoupçonnées à la recherche sur la création de l'Univers ».

La découverte historique du 30 mars a été rendue possible notamment grâce au projet « Collaboration Atlas » qui réunit quelque 3 000 physiciens (dont un millier d'étudiants) venant d'une quarantaine de pays et appartenant à plus de 170 universités et laboratoires. Toute une « nation virtuelle », pour reprendre l'expression couramment employée au

☞ L'exposition « Univers de particules » vise à sensibiliser les visiteurs du CERN aux grandes questions de la physique contemporaine. © UNESCO/J. Šopova

CERN. « La motivation et elle seule peut expliquer la réussite de cette gigantesque entreprise. Venus de différentes régions du monde, nous marchons tous dans la même direction : vers le savoir », affirme le Directeur général. Si l'on découvre un jour le fameux boson de Higgs – particule hypothétique surnommée le Graal des physiciens, parce qu'ils la cherchent depuis plus d'un demi-siècle – ce sera grâce à l'Atlas. « Nous savons tout de cette particule, excepté une chose : si elle existe », dit-il en souriant.

Le CERN n'est pas seul à poursuivre cette quête. Il y a aussi Fermilab, à proximité de Chicago (États-Unis). « Aujourd'hui, c'est le CERN qui possède l'accélérateur le plus puissant au monde, mais jusqu'à récemment, c'était Fermilab, et ils ont accumulé une masse extraordinaire d'informations en 25 ans, alors que nous, nous venons seulement de commencer. Le LHC n'a été lancé qu'en septembre 2008. Cela dit, je crois que grâce à lui, nous avons des chances de les devancer dans la découverte du boson de Higgs », espère Rolf-Dieter Heuer. Les deux organismes collaborent-ils ? « J'appelle cela une collaboration compétitive ou une compétition collaborative. Fermilab nous a beaucoup aidés, notamment lorsque LHC est tombé en panne [peu après son lancement] ». Échangent-ils des données ? « Pas pour l'instant. Je vous invite à me reposer la même question dans quelques années ».

Sans compétition, il n'y a pas de progrès. Sans coopération non plus.

« Sans compétition, il n'y a pas de progrès », déclare Rolf-Dieter Heuer. Sans coopération non plus. Elle a été à l'origine de la naissance du CERN et elle demeure sa force motrice, mais aussi un des idéaux permanents de l'UNESCO. Parmi les projets récents, l'UNESCO soutient notamment le Centre international de rayonnement synchrotron pour les sciences expérimentales et appliquées au Moyen-Orient (SESAME), situé à Allan (Jordanie). Sur le plan de la coopération scientifique internationale, SESAME est l'équivalent du CERN pour le Moyen-Orient. Il réunit Bahreïn, Chypre, l'Égypte, l'Iran, Israël, la Jordanie, le Pakistan,

l'Autorité palestinienne et la Turquie. « Nous n'avons pas le même domaine de compétences », explique le Directeur général du CERN, « mais l'idée de la science pour la paix est sous-jacente aux deux projets. Et le CERN ne ménage pas ses efforts pour aider à la construction de SESAME, en particulier sur le plan de l'expertise. »

Si, dans le cadre des initiatives communes (SESAME, bibliothèques virtuelles dans les universités africaines, formation des enseignants, etc.), le CERN met son expertise scientifique à la disposition de l'UNESCO, le Programme international de l'UNESCO relatif aux sciences fondamentales (PISF) offre à l'Organisation européenne un cadre de coopération avec des chercheurs venant de pays qui ne sont pas ses membres. En effet, le CERN compte 20 États membres, mais ses projets associent quelque 10 000 experts de 85 nationalités différentes.

On ne sait jamais ni quand ni où un résultat issu de la recherche fondamentale sera appliqué. Mais il finit toujours par l'être.

Le CERN compte également sur l'UNESCO pour l'aider à promouvoir l'idée d'une nouvelle approche de l'enseignement de la physique et des mathématiques à l'échelle internationale. « On ne peut pas continuer d'enseigner la physique en commençant par des théories élaborées au 18^e siècle ! », s'indigne Rolf-Dieter Heuer. « Les recherches actuelles sur l'Univers, par exemple, ont de quoi passionner les jeunes. L'école doit éveiller leur curiosité et les mener doucement vers les bases. Le CERN ne peut pas élaborer une méthode valable pour tous les pays de la Terre, mais peut néanmoins sensibiliser et former des enseignants à travers le monde. Quant à l'UNESCO, elle peut convaincre les décideurs politiques qu'il faut impérativement rendre ces matières plus attractives pour les élèves du secondaire, afin que les jeunes ne s'éloignent pas des sciences exactes. » La bataille risque d'être longue. Le Directeur du CERN en est conscient, mais il sait que « qui ne tente rien n'a rien ! »,

La science fondamentale est un autre domaine où les objectifs des deux organisations se rejoignent. Force est de constater que les décideurs perçoivent



☞ Trois ans après le lancement de l'idée du CERN, la signature de la Convention portant sa création a eu lieu le 19 juillet 1953, à l'UNESCO.

© UNESCO

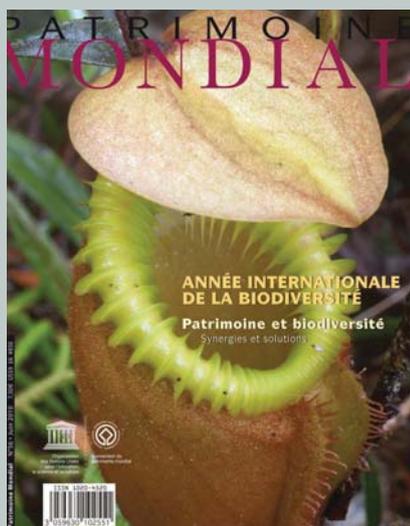
parfois la recherche fondamentale comme une abstraction car ses résultats ne sont pas immédiatement applicables. Pour Rolf-Dieter Heuer, c'est un non-sens.

« Je définis la science fondamentale comme une recherche ouverte, axée sur les résultats, mais non sur les applications. Imaginez que vous ayez demandé à Wilhelm Röntgen d'inventer un appareil qui photographie votre squelette ! Il n'aurait jamais pensé au rayonnement. Et pourtant, sans idée préconçue, il a découvert en 1895 les rayons X qui servent encore aujourd'hui dans la radiographie moderne. » Ce ne sont pas les exemples qui manquent pour illustrer la conclusion de Heuer : « On ne sait jamais ni quand ni où un résultat issu de la recherche fondamentale sera appliqué. Mais il finit toujours par l'être, directement ou indirectement ». ■



© CERN

Rolf-Dieter Heuer, physicien allemand, a pris ses fonctions de Directeur général du CERN le 1er janvier 2009. Le début de son mandat coïncide avec le début de l'exploitation du Grand collisionneur de hadrons (LHC).



PATRIMOINE MONDIAL N° 56
« Patrimoine et biodiversité : synergies et solutions », ce numéro de la revue aborde les thèmes suivants :

- Synergies entre zones clés pour la biodiversité et patrimoine mondial
- Patrimoine mondial marin : le moment est venu
- Réchauffement climatique – mettre la nature à contribution
- Diversité culturelle, biodiversité et sites du patrimoine mondial
- Ghats occidentaux : biodiversité, endémisme et conservation
- Les Jardins botaniques royaux de Kew et la conservation de la biodiversité
- Financement pour la biodiversité : implications pour les sites du patrimoine mondial

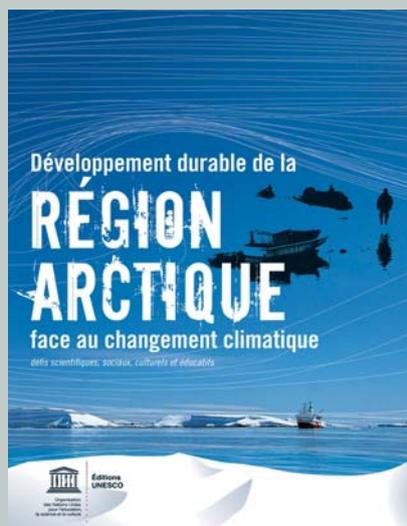
88 pages, couleur · 7,50 € · Juin 2010

DÉVELOPPEMENT DURABLE DE LA RÉGION ARCTIQUE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE
Défis scientifiques, sociaux, culturels et éducatifs

Les transformations environnementales et sociales dues au changement climatique que vit actuellement l'Arctique ont des répercussions sur l'ensemble de la planète. La recherche se concentre sur l'exploration de stratégies d'adaptation au changement climatique. Il est évident que les réponses ne peuvent être qu'interdisciplinaires et reposent sur la qualité du dialogue entre scientifiques, communautés locales et responsables politiques.

Des pistes pour gérer le changement climatique.

418 pages, photographies en couleurs, figures, tableaux, références, 18 x 24 cm · 22,00 € · 2010



EXPLIQUE-MOI LA TERRE

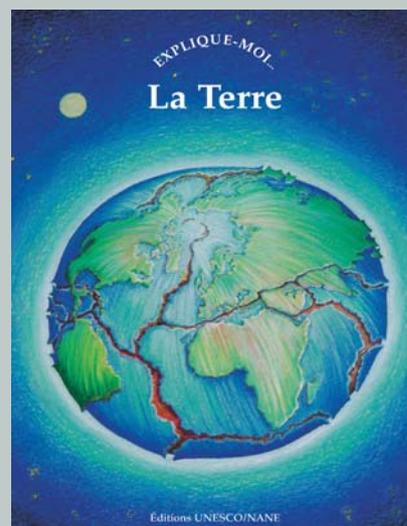
Abondamment illustré, concret, complété par un lexique, ce livre expose les principaux aspects des sciences de la Terre : la place de notre planète dans l'univers et dans le système solaire, sa structure, la tectonique des plaques, le rôle de l'atmosphère et de l'hydrosphère, la formation des reliefs, les glaciations, les risques naturels, etc.

Il est publié dans la série « Raconte-moi, Explique-moi » qui s'adresse aux enfants et peut servir d'outil pédagogique aux enseignants et aux animateurs.

48 pages, photos, dessins, cartes, schémas, lexique, 15,5 x 21,7 cm · 8,00 € · 2006

BIODIVERSITÉ ET DÉVELOPPEMENT DURABLE
Yann Guillaud

La réduction de la variété génétique des espèces, le rythme accéléré de leur extinction, les modifications profondes des conditions d'existence du vivant sont



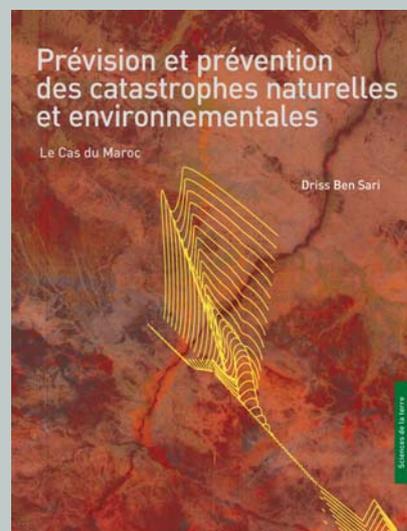
autant de preuves du déclin de la biodiversité. Ce livre s'interroge sur les moyens qu'il faut déployer pour en assurer la conservation et la valorisation et sur la nécessité d'aborder la question non pas sous l'angle de la propriété mais sous celui des usages.

248 pages, cartes, encadrés, figures, graphiques, tableaux, annexes, 13,5 x 21,5 cm · 24,00 € · 2007

PRÉVISION ET PRÉVENTION DES CATASTROPHES NATURELLES ET ENVIRONNEMENTALES : LE CAS DU MAROC
Driss Ben Sari

Les transformations qui affectent la Terre en général et le Maroc en particulier tant dans les profondeurs qu'en surface. L'auteur analyse les différents types de catastrophes naturelles, les met en relation avec la vie des populations et propose des mesures de prévention.

234 pages, figures, tableaux, annexes et bibliographie, 20,8 x 27 cm · 48,00 € · 2004



Passeurs de cultures

Stephen Humphreys

Depuis toujours, les cultures s'entremêlent et interagissent, donnant naissance à de nouvelles cultures hybrides. Pourtant, elles ont aussi tendance à se cloisonner, à rejeter les cultures voisines. En s'appuyant sur le cas des cultures nord-américaine et arabo-musulmane, Stephen Humphreys met en relief le rôle de la littérature et des arts comme moyens privilégiés de rapprochement.

Toute réflexion concernant des cultures en intime contact l'une avec l'autre – que ce contact se traduise par des tensions, un conflit ouvert ou une recherche de rapprochement – commence nécessairement par un effort de définition de ce qu'on entend par « culture ». J'adopterai ici la perspective développée par l'anthropologue américain Clifford Geertz il y a près de quarante ans. Selon lui, la culture ne réside pas dans les modèles comportementaux et les structures sociales elles-mêmes, mais dans la façon dont nous créons du sens et l'exprimons au sein de ces modèles et de ces structures. Une

culture est l'accumulation d'idées, de croyances, de gestes, de rituels et de pratiques qui font qu'une société se perçoit comme un ensemble cohérent et porteur de sens, autrement dit comme un peuple à part possédant une identité propre.

Les cultures ne sont pas pour autant hermétiques, car il est rare qu'elles puissent se protéger des pressions et des influences extérieures. En réalité, les cultures sont perméables, elles ont à la fois la capacité et la particularité d'être toujours engagées, jusqu'à un certain point, dans des processus d'interpénétration et d'hybridation. Elles

trouvent alors une manière équilibrée de se côtoyer ou de s'entremêler, entrant dans une interaction limitée et pragmatique avec les cultures voisines, sans toutefois éprouver de difficultés à conserver la perception de soi et à maintenir leur identité fondamentale.

Le conflit survient lorsque deux systèmes culturels en viennent à paraître menaçants l'un pour l'autre. Ce sentiment a souvent pour origine l'intrusion violente d'un système culturel dans l'espace occupé par un autre, un « impérialisme », à petite ou à grande échelle, caractéristique constante et omniprésente de l'histoire de l'humanité. La peur de l'autre est cependant plus forte et insidieuse lorsqu'elle est le fruit d'une situation d'hybridation rapide, envahissante et incontrôlable, qui crée un profond sentiment de perte de contrôle. Tous les symboles, les règles de comportement, les croyances, les rituels séculaires se dissolvent et se mettent à paraître étrangers, donnant aux populations concernées l'impression de ne plus être chez elles sur leur propre territoire. Aujourd'hui, cette inquiétude liée à l'hybridation contamine quasiment toutes les cultures de la planète. La question est de savoir s'il est possible de remédier à cette inquiétude ou de l'atténuer. Si oui, comment et dans quelle mesure ?

📍 Rencontre au cœur de la peinture : diptyque réalisé par l'artiste allemande Helga Shuhr et l'artiste libyen Youssef Fatis. © Helga Shuhr & Youssef Fatis
Photo : UNESCO/R. Fayad



Venir à bout des stéréotypes

Pour tenter de répondre à cette question, nous allons nous pencher sur la réaction américaine envers les sociétés arabes et musulmanes. Nous ne surprendrons personne en affirmant que cette réaction est pour le moins confuse. De manière générale, les Américains sont désireux de comprendre et même d'accepter les différences culturelles, mais ils sont intimement convaincus de la supériorité du fameux *american way of life*. La réaction américaine se concentre plus sur des craintes (vis-à-vis notamment du « terrorisme islamique ») que sur la recherche d'une compréhension étendue et nuancée des cultures à la fois diverses et complexes des sociétés arabes et musulmanes. Cette recherche de compréhension existe bel et bien aux États-Unis, mais seulement dans des cercles restreints (les milieux universitaires essentiellement), non dans un grand public influencé par les médias et l'internet.

Inévitablement, les stéréotypes sur les Arabes et les musulmans règnent en maître. La question est de savoir comment faire pour qu'un très grand nombre d'Américains remettent en cause ces stéréotypes, affrontent leurs craintes et cherchent réellement à comprendre les cultures arabes et musulmanes.

Inutile de seurrer : même si nous y parvenons, il demeurera sans aucun doute des différences culturelles trop difficiles à accepter, car elles remettent en question et offensent profondément les valeurs et les modes de vie américains. Un simple exemple suffit : aux yeux des Américains, la burqa et le niqab symbolisent – ou plutôt incarnent – l'avisement et la dépersonnalisation de la femme. *A priori*, aucun débat ou effort d'explication ne pourra venir à bout de cette réaction quasi instinctive.

Un autre problème se pose. On peut très bien parvenir à comprendre les différences culturelles sans pour autant les accepter, car on ne les considère pas comme des options acceptables ou pertinentes. Un tel rejet mène-t-il nécessairement au conflit ? Je n'ai pas de réponse toute prête à cette question, mais il convient de se la poser avec sérieux et honnêteté.

Le miroir de la méfiance

Quand on tente de comprendre une culture, on est nécessairement sélectif : on ne peut pas savoir tout sur tout. Mais alors, quels aspects des cultures arabes et

musulmanes sont à privilégier ? Quels groupes allons-nous choisir pour représenter ces cultures auprès de notre société ? Jusqu'à présent, les Américains ont eu tendance à s'intéresser à deux groupes, à l'exclusion de quasiment tous les autres : les militants religieux radicaux et les femmes. La peur et les inquiétudes qu'ils suscitent tendent à déformer les débats et les analyses.

En ce qui concerne le premier groupe, on peut dire que les Américains voient l'Islam à la lumière du 11 septembre et les Arabes à la lumière du conflit israélo-palestinien. Je pense que l'inverse est également vrai : les Arabes du Moyen-Orient et de la diaspora voient eux aussi les États-Unis à travers le prisme israélo-palestinien. Chacun est le reflet de la méfiance, de la peur et du ressentiment de l'autre : un cocktail idéal pour provoquer tensions et suspensions, voire un rejet culturel réciproque.

Pour ce qui est des militants américains des droits des femmes, certains sont bien informés et témoignent d'une sensibilité culturelle, d'autres non. Dans un cas comme dans l'autre, leurs interventions touchent aux dimensions les plus intimes et les plus farouchement contestées des sociétés arabes et musulmanes. Ainsi, il arrive parfois que les tentatives de rapprochement accentuent les tensions culturelles plus qu'elles ne les dissipent.

Le rôle des intermédiaires culturels

La littérature et les arts ouvrent des voies originales à la compréhension des cultures arabes et musulmanes. Dans un article du *New Yorker*, Claudia Roth Pierpont fait un constat révélateur : « Les romans arabes apportent d'excellentes réponses aux questions que nous ne savions pas que nous voulions nous poser. » C'est exactement cela. Malheureusement, seule une infime partie de la littérature arabe publiée ces vingt dernières années a été traduite en anglais.

Bien que les romanciers construisent leurs propres univers, qui ne sont pas de simples reflets de leurs cultures, et qu'ils ne parlent pas au nom de leur société mais uniquement en leur nom propre, leurs œuvres constituent des produits directs et authentiques des sociétés et cultures au sein desquelles ils vivent. Il en est de même des musiciens, des peintres et des sculpteurs.

En dépit de toutes les limites et réserves que l'on peut émettre, la littérature et les arts restent le meilleur

moyen pour les étrangers de pénétrer une autre culture. Ils nous offrent les perspectives les plus vastes et les plus variées sur la manière dont les cultures arabes se perçoivent et sur les mille façons dont elles tentent de se définir. Toutefois, pour pouvoir servir de pont entre les cultures, ces arts ont besoin de traducteurs, d'artistes et d'interprètes. On considère souvent ces d'intermédiaires culturels avec un brin de condescendance, comme de simples passerelles servant à transmettre les efforts créatifs des auteurs à un nouveau public. De toute évidence, cette vision ne rend pas justice à la profondeur de la connaissance et de la compréhension requises pour rendre les produits d'un système culturel intelligibles, porteurs de sens, et même utiles aux membres d'une autre société. L'œuvre du traducteur, tout comme celle de l'interprète musical, ne constitue peut-être pas une création en soi, mais en tant que re-création, elle est un élément essentiel du processus de rapprochement culturel.

Pour conclure, je dirais que les États-Unis ne seront capables d'assumer les réalités complexes des cultures arabes que lorsque qu'ils disposeront d'un corps de traducteurs et d'interprètes bien plus étoffé et, surtout, lorsque ces intermédiaires ne seront plus des acteurs marginaux de la vie intellectuelle et culturelle du pays mais bel et bien des acteurs à part entière. Cette évolution ne se fera pas du jour au lendemain et ne résoudra en aucun cas toutes les tensions et les inimitiés qui existent entre des cultures aussi différentes. Mais elle aurait au moins le mérite de permettre aux Américains de commencer à voir les Arabes et les musulmans tels qu'ils sont en réalité, dans toute leur complexité. Il faut bien sûr espérer en retour que les intellectuels et les érudits arabes feront un effort similaire pour comprendre le mode de vie et de pensée américains, ce qui, je l'admets, n'est pas chose facile. Mais c'est une tâche que nous devons entreprendre si nous voulons un jour dépasser la confusion et la méfiance mutuelles qui imprègnent si profondément ces deux cultures. ■

R. Stephen Humphreys est professeur d'histoire et d'études islamiques à l'Université de Californie, à Santa Barbara (États-Unis). Cet article est extrait de ses « Réflexions sur le problème du rapprochement des cultures », présentées à l'UNESCO le 9 février 2010, lors du Forum organisé à l'occasion de la remise du Prix UNESCO-Sharjah pour la culture arabe.



La seconde vie de Touki Bouki

Tourner en langues nationales, aider les cinéastes africains, promouvoir leurs œuvres, soutenir la production audiovisuelle moderne, sauvegarder le patrimoine cinématographique de l'Afrique — voilà les objectifs que s'est fixés le réalisateur malien Souleymane Cissé. Un homme plein d'entrain et d'ambitions pour son continent.

Entretien avec **SOULEYMANE CISSÉ** conduit par **Gabrielle Lorne**, journaliste martiniquaise

Considérez-vous le cinéma comme un espace de dialogue entre les cultures ?

Oui, le cinéma a rendu le monde plus petit. Il participe de la théorie du village planétaire. Je dirai même de l'émotion planétaire. Quelle que soit la nationalité de son réalisateur, quel que soit le pays où il a été tourné, le film donne à partager une vision. Et le spectateur a le sentiment d'être transporté dans un univers dont les sons et les accents ne lui sont pas familiers. Je crois que l'une

des vertus du cinéma est de rapprocher les humains.

Vous parlez de village planétaire. Pourtant le repli sur soi, la méfiance et l'incompréhension semblent progresser.

Cette ambivalence est incontestable. Au cours de ces 30 dernières années, j'ai vu les gros distributeurs se détourner progressivement des films africains. On dirait que les distributeurs ont peur de

 Souleymane Cissé à l'UNESCO, lors du lancement de l'Année internationale du rapprochement des cultures, le 18 février 2010. © UNESCO/A.Wheeler

la différence. En 1987, mon film *Yeelen* est sorti dans toutes les grandes salles de France et de Navarre et a conquis des spectateurs de toutes classes sociales ! Cela me paraît impossible aujourd'hui. Je ne crois pas pourtant que les spectateurs aient changé. Ce sont les décideurs qui ne prennent plus de risques. Ni le risque de la différence, ni celui de la découverte. Et encore moins des risques économiques. En revanche chez nous, dans les pays du Sud, nous ne regardons que des films occidentaux.

Peut-on corriger ce déséquilibre ?

Il faut une volonté politique forte pour inverser cette tendance au repli. Car l'absence de recettes a un impact aussi bien sur la qualité que sur la quantité de notre travail. Et nous, réalisateurs d'Afrique, nous devons en tirer les leçons : nous tourner vers notre public naturel, par exemple, dans nos pays. Mais nos spectateurs, aussi nombreux soient-ils, n'ont pas les moyens de financer nos films. C'est pour cela qu'au Mali, la production cinématographique est aujourd'hui plus pauvre qu'il y a 20 ou 30 ans.

Pourquoi tournez-vous toujours en bambara, la langue nationale de votre pays ?

On m'a beaucoup reproché de ne pas tourner en français, l'unique langue officielle du Mali. J'ai choisi de tourner en bambara, parce c'est la langue principale de 80 % des Maliens. Elle est comprise par plus de 20 millions de personnes en Afrique de l'Ouest. C'est la langue du commerce. Ce poids linguistique n'est pas un menu détail.

D'autre part, pour avoir dirigé des dizaines de comédiens, je peux vous assurer que l'on n'obtient pas le même résultat, selon que les dialogues sont en français ou en bambara, la langue de l'intimité... On nous a souvent dit que personne en dehors de l'Afrique ne nous comprendra, que cela nous désavantage, mais je pense que c'est faux. La langue se met au service de l'histoire du film. Comment aurais-je pu tourner en français *Yeelen*, qui parle des connaissances occultes que les Bambaras se transmettent de génération en génération !

Vous allez plus loin : vous dites que les États doivent renoncer aux langues des colonisateurs en faveur des langues nationales qui ne sont pas reconnues comme langues officielles.

Les langues nationales rapprochent les citoyens, elles sont indispensables pour édifier une nation. Au Mali, nous avons 13 langues nationales, mais une seule langue officielle : le français. Je le dis et le répète : les langues nationales ne tuent ni l'anglais, ni le français, ni l'espagnol. Mais je crois que si le Mali ne prend pas en charge ses langues à lui, la civilisation qu'elles véhiculent depuis des millénaires finira par disparaître.

Et si je puis me permettre une observation politique, dès lors qu'un État choisit d'être indépendant, il doit aller jusqu'au bout, et ne pas avoir peur de chambouler l'administration. Il est encore temps de reprendre le travail pour codifier une écriture pour chacune des langues et revaloriser les idéogrammes laissés par nos ancêtres.

Vous êtes aussi très engagé dans la promotion du cinéma africain.

Oui, après *Waati*, mon film sur l'Apartheid en Afrique du Sud sorti en 1995, je me suis rendu compte que le soutien financier dont bénéficiait le cinéma africain, en Europe notamment, s'amenuisait. Pour leur part, les États africains n'ont pas les moyens d'investir dans nos films, mais ils peuvent au moins favoriser la création et l'industrie cinématographiques avec un cadre juridique adapté.

Il fallait donc que nous, professionnels du cinéma, nous nous engagions dans la défense de nos métiers. J'ai donc fondé en 1997 l'Union des créateurs et entrepreneurs du cinéma et de l'audiovisuel de l'Afrique de l'Ouest (UCECAO). Notre objectif est de promouvoir le cinéma africain et d'inciter ceux qui ont des moyens en Afrique, le secteur privé par exemple, à le soutenir.

Vous avez également créé des festivals de cinéma ?

L'UCECAO a lancé en 1998 les Rencontres cinématographiques de Bamako. Puis, nous avons initié le Festival international de Nyamina (FINA), en milieu rural, car la culture ne peut pas être réservée exclusivement à la population urbaine. Le FINA accueille non seulement de jeunes réalisateurs, mais aussi des vidéastes, voire des photographes.



Aujourd'hui, vous vous préoccupez du patrimoine cinématographique du continent.

C'est vrai. En 2007, à Cannes, j'ai eu le plaisir de participer au lancement de la World Cinema Foundation (WCF) de l'Américain Martin Scorsese. Quelques mois plus tard, Scorsese est venu au Mali à l'invitation de l'UCECAO et il a décidé d'investir dans la préservation de notre patrimoine cinématographique. Au Festival de Cannes suivant, j'ai pu présenter la version restaurée de *Touki Bouki*, de Djibril Diop Mambéty, qui date de 1973. Cela faisait 20 ans que l'on ne pouvait plus voir ce film, car il était très abîmé par le temps et les mauvaises conditions de conservation.

Touki Bouki a été le premier film d'Afrique subsaharienne à avoir eu droit à une seconde vie. J'étais très heureux de ce choix, car c'est à mon

➤ Affiche du film *Touki Bouki* réalisé par Djibril Diop Mambéty en 1973. Le film a été récemment restauré par la WCF.
© WWW.trigon-film.org

avis un film prophétique, sur l'émigration notamment, puisqu'il raconte l'histoire d'un jeune couple fasciné par l'Occident. ■

Premier cinéaste africain à être primé à Cannes en 1987 pour son long métrage *Yeelen*, **Souleymane Cissé** figure parmi les grands noms du cinéma mondial. À 70 ans, avec une trentaine de films à son actif, il est membre du Panel de haut niveau sur la paix et le dialogue entre les cultures, mis en place par l'UNESCO en 2010. La première réunion de ce Panel, le 18 février 2010, a marqué le lancement de l'Année internationale du rapprochement des cultures, qui s'achève en mars 2011.



Patrimoine culturel immatériel

« Les Parachicos dans la fête traditionnelle de janvier à Chiapa de Corzo » (Mexique) ont été inscrits fin 2010 sur la Liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité.

Le terme « Parachicos » désigne à la fois les danseurs et la danse lors de cette grande fête traditionnelle qui se déroule chaque année du 4 au 23 janvier.

Associant musique, danse, artisanat, gastronomie, cérémonies religieuses et festivités, la fête embrasse toutes les sphères de la vie locale, favorisant le

respect mutuel entre communautés, groupes et individus.

Les danseurs défilent dans toute la ville, arborant des masques en bois surmontés d'une coiffe, une couverture, un châle brodé et des rubans multicolores. Ils sont guidés par le *patrón*, qui porte un masque à l'expression sévère, une guitare et un fouet. Accompagné par un ou deux tambours, il joue de la flûte et entonne des louanges auxquelles les danseurs répondent par des acclamations.

La Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel, adoptée en 2003 à l'UNESCO, est entrée en vigueur le 20 avril 2006. Elle reconnaît l'importance du patrimoine culturel immatériel qui ne réside pas tant dans la manifestation culturelle elle-même que dans la richesse des connaissances et du savoir-faire qu'il transmet d'une génération à une autre.

© 2009 Coordinación Ejecutiva para la conmemoración del Bicentenario de la Independencia Nacional y del Centenario de la Revolución Mexicana del Estado de Chiapas



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

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

Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

Организация
Объединенных Наций по
вопросам образования,
науки и культуры

منظمة الأمم المتحدة
للتربية والعلم والثقافة

联合国教育、
科学及文化组织

PEACE
PAIX
PAZ
МИР
السلام
和平

65