

L'humanité peut-elle se passer de la chimie ?

Tous les mois dans Le Figaro, des membres de l'Académie des sciences répondent aux grandes questions de l'actualité scientifique.



Gérard Férey*

CHIMISTE,
MEMBRE DE
L'ACADÉMIE DES SCIENCES

Nous ne nous en rendons plus compte, mais notre monde est environné par la chimie. Les bienfaits de cette discipline sont immenses, même si des faits graves, dont les chimistes eux-mêmes sont conscients, ternissent son bilan.

Certains s'acharnent sur ces défauts. Depuis fort longtemps, la chimie est l'objet de procès publics, uniquement à charge. Cultiver la peur du public est certes un procédé. Mais il pourrait aisément se retourner contre ses auteurs, comme le montre ce petit scénario catastrophe proposé il y a quelques années par le P^r Armand Lattes.

Supposons en effet que, lassés par les critiques, tous les chimistes du monde entier décident, à l'unanimité, de donner raison à leurs détracteurs en cessant définitivement, quoique à regret, toute activité professionnelle. Quelle victoire pour les adeptes du « tout naturel » ! Vive l'an I d'un monde sans chimie !

L'euphorie serait pourtant de courte durée. Faute de chimistes pour raffiner le pétrole, l'essence, le fioul et le kérosène viendraient vite à manquer. Les avions resteraient cloués au sol et les voitures, immobilisées, seraient remplacées par des vélos. Mais les routes n'étant plus goudronnées, leurs pneus, qui ne seraient plus fabriqués, seraient

vite usés... Résultat : les hommes ne pouvant plus se déplacer qu'à cheval ou à pied, la société se replierait sur elle-même. Les échanges internationaux, cela va sans dire, ne seraient plus qu'un lointain souvenir.

L'hiver venu, les vieux poêles à charbon reprendraient du service avec, à la clé, un surcroît de pollution et de pluies acides préjudiciables aux forêts dont les surfaces se réduiraient comme peau de chagrin du fait de la hausse vertigineuse de la demande en bois de chauffage. Même le recours aux énergies renouvelables serait vain. Sans silicium et sans pales d'éoliennes – issus de la chimie –, impossible d'exploiter efficacement l'énergie du soleil ou du vent.

Un malheur n'arrivant jamais seul, la santé des populations aurait tout fait de se dégrader : les laboratoires pharmaceutiques ayant fermé leurs portes, du fait de la « grève » des chimistes, il n'y aurait plus de médicaments ! Même plus d'aspirine... Alors, que dire du traitement des cancers ? La chirurgie disparaîtrait faute d'anesthésiques. L'espérance de vie serait en chute libre.

Dans ce monde « débarrassé » de la chimie, téléphones fixes ou portables, ordinateurs, radios, téléviseurs, photographie, dont la plupart des composants sont le fruit de synthèses chimiques, finiraient vite au musée ou au grenier. Les opposants à la chimie ne disposeraient même plus d'Internet pour faire circuler leurs pétitions ! On pourrait multiplier les exemples à l'infini...

Mais les chimistes ne sont pas des marchands de peur. Plutôt que de précher l'apocalypse, ils préfèrent chercher et trouver des solutions pour diminuer, voire supprimer, les risques inhérents à leur activité.

L'essor de la chimie « verte », initiée aux États-Unis, en est le meilleur exemple. Depuis une vingtaine d'années, scientifiques et industriels développent, sans que les médias s'en fassent beaucoup l'écho, des recherches sur des solvants non toxiques et des produits, le plus souvent issus de la biomasse, qui sont à la fois moins coûteux, plus sûrs et respectueux de l'environnement.

Dans le domaine de l'énergie, le développement – toujours par des chimistes – de nouvelles batteries très performantes est fulgurant. Les piles à combustible connaissent, elles aussi, un

nouvel essor avec la perspective de produire de l'hydrogène à partir du vivant. Les matériaux thermoélectriques transforment la chaleur en électricité. Les nouvelles cellules photovoltaïques ont des rendements toujours plus élevés.

Détruire le CO₂

S'agissant des matériaux, les chimistes innoveront sans cesse (voir article ci-contre). De nouveaux bétons, de nouveaux composites, de nouveaux alliages donnent aux édifices pharaoniques qui caractérisent notre époque, mais aussi à nos avions, à nos automobiles ou à nos fusées, plus de résistance et de fiabilité. Là encore au meilleur coût.

De nombreux chimistes s'impliquent également dans la sauvegarde du climat

et de l'environnement. Car il ne s'agit pas uniquement de diminuer les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, méthane...) : il faut aussi les stocker avant qu'ils ne s'échappent dans l'atmosphère. Pour cela, de nouveaux pièges moléculaires, capables de capturer 400 fois le volume de ces gaz, apparaissent sur le marché. Des projets de recherche visent parallèlement à détruire le CO₂ au moyen de réactions catalytiques pour en tirer des produits utiles et bénéfiques.

Dans le domaine crucial de la santé (voir article ci-contre), de nouveaux nanovecteurs non toxiques, actifs en imagerie médicale et biodégradables, permettent déjà d'acheminer, en toute sécurité, jusqu'à l'organe malade, des quantités optimales de médicaments,

donnant ainsi naissance à une nouvelle branche de la médecine moléculaire, la théranostique, qui conjugue dans le même produit, thérapie et diagnostic.

Bien sûr, le risque zéro n'existe pas. Les bénéfices doivent toujours largement l'emporter sur les risques. Chercheurs comme industriels font tout pour y tendre. Mais, à l'inverse des tenants d'une écologie de la décroissance et du déclin, les chimistes prônent, dans leur ensemble, une écologie tournée vers l'avenir de la planète, qui soit à la fois innovante, pourvoyeuse de bien-être et de prospérité. ■

* À écouter sur Canal Académie (www.academie-sciences.fr) dans l'émission « Et si la chimie apportait des solutions à l'avenir de la planète »...



Les Grands Boulevards, du peintre Jean Béraud en 1890, donnent une idée assez juste de ce que serait resté notre quotidien si les chimistes s'étaient mis en congé de l'humanité. AURIANE POILLET/LE FIGARO ; AKG-IMAGES

La révolution des médicaments du futur



Jean-Paul Behr

CHIMISTE,
MEMBRE DE
L'ACADÉMIE DES SCIENCES

Il est des Nobel plus nobles que d'autres. Celui de médecine 2006, décerné à Andrew Fire et Craig Mello, a secouru les fondations de la biologie. Leurs travaux ont révélé qu'une grande partie de notre ADN est en fait copiée en de petites molécules d'ARN (acide ribonucléique) fugaces qui harmonisent toutes les étapes du fonctionnement d'une cellule, depuis l'embryogénèse jusqu'à la mort : l'ARN interférence. Cette découverte majeure, qui ouvre la perspective d'agir sur n'importe quelle voie métabolique soulève d'immenses espoirs pour la recherche biomédicale.

Le premier défi qui se présentait aux chimistes consistait à prolonger la survie de cette molécule intrinsèquement instable dans l'organisme afin qu'elle puisse jouer son rôle de médicament. Pour cela, ils ont commencé par « verrouiller » les atomes d'oxygène de l'ARN responsables de sa grande fragilité. Puis ils ont protégé ses extrémités afin de ralentir son excrétion par les reins.

La chimie des petits ARN interférents (siRNA en anglais, pour *small interfering RNA*) est aujourd'hui au point : ils sont jusqu'à 100 fois plus stables dans l'organisme que leur version naturelle et il est possible d'en synthétiser de grandes quantités. Plusieurs entreprises conduisent des essais cliniques dans des conditions où le siRNA reste confiné dans un organe clos. Opko et Quark par exemple

ont choisi de s'attaquer à des pathologies oculaires, comme la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA).

Mais le plus grand défi consiste à faire pénétrer ces ARN interférents dans les cellules humaines, pratiquement imperméables à de telles molécules. Pour ce faire, les sociétés nord-américaines Alnylam et Tekmira font appel à des vecteurs chimiques. Ces derniers bénéficient de l'expérience acquise après deux décennies de recherche en thérapie génique, et de quelques avantages particuliers. Un siRNA étant cent fois plus petit qu'un gène, il est d'autant plus facile à transporter. Il n'a pas non plus besoin d'être acheminé jusque dans le noyau cellulaire, comme c'est le cas avec l'ADN. Une vingtaine d'essais cliniques portant sur l'excès de cholestérol, le diabète, l'hépatite ou le cancer, sont en cours. Tous ont en commun l'injection intraveineuse de siRNA encapsulés dans des nanoparticules lipidiques.

Cheval de Troie

D'autres nanoparticules à base de polymères sont en cours de développement. Tels des chevaux de Troie, elles se laissent phagocytiser par les cellules et ne libèrent les siRNA qu'à l'intérieur. Une dernière voie de recherche, qui n'était pas envisageable avec des gènes pour cause de taille excessive, consiste à lier chimiquement le siRNA à son transporteur, revenant ainsi à des médicaments moléculaires proches des médicaments classiques.

La chimie de synthèse a été le mode de développement et de production essentiel de la pharmacopée du XX^e siècle. L'arrivée des médicaments issus des biotechnologies a semblé signifier la fin de cette ère. Après les anticorps, le tome II de la saga des biomédicaments, dédié à l'ARN interférence, verra le retour de la chimie de formulation sur le devant de la scène : l'adage « il n'y a pas de médicament sans chimie » se conjugue au passé, au présent et au futur. ■

Des objets capables de s'autoréparer



Ludwik Leibler

CHIMISTE,
CNRS/ESPCI

Les polymères ont marqué le XX^e siècle. Les plastiques, les caoutchoucs, les colles et les peintures sont faits de ces longues chaînes d'atomes reliés chimiquement. Ces composés jouent également un rôle déterminant dans le développement des nouvelles technologies, qu'il s'agisse du cinéma, de l'électronique ou de l'informatique. Enfin, la chimie dite « des polymères » nous a appris à concevoir des matériaux à la fois légers et résistants aux chocs, si précieux dans l'aéronautique, par exemple. L'expérience quotidienne nous enseigne cependant que même les plus belles réalisations de la technique moderne peuvent devenir inutilisables à la suite d'un dommage et que l'usure (craquelures, rayures...) limite leur durée de vie.

Sous la pression des enjeux énergétiques et environnementaux, le XXI^e siècle appelle à de nouvelles révolutions. Parmi ces défis à relever : un matériau qui, une fois endommagé,

serait capable de se réparer et de se consolider tout seul, sans apport de matière ou de chaleur extérieure.

Le premier pas de géant réalisé dans cette direction remonte à une dizaine d'années. Des chercheurs de l'Université de l'Illinois, aux États-Unis, ont eu l'idée de disperser, dans des matériaux durs, de fines capsules contenant des réactifs. Lors d'un dommage, les capsules brisées libèrent les réactifs, qui, en se solidifiant presque instantanément, comblent la fissure, à la manière d'une colle liquide. La faisabilité de l'autocicatrisation d'un matériau grâce à l'insertion d'une « rustine » chimique venait d'être démontrée ! Mais la présence de ces fameuses capsules fragilisait l'ensemble. En outre, le système ne permettait de réparer le matériau qu'une seule fois sur une zone donnée.

Chimie supramoléculaire

Comment aller plus loin et imaginer un matériau qui puisse se réparer seul sans l'aide d'aucune colle ? La pâte (à tarte ou à modeler) ou le bitume en plein soleil suggèrent que c'est possible, mais ni l'un ni l'autre n'offrent de résistance à l'étirement ou à l'écrasement. En outre, ils collent en permanence... La véritable percée consisterait à obtenir un solide qui ne devienne autoadhésif qu'après avoir subi un dégat. En partant du constat qu'un endommagement a pour effet de rompre les liaisons chimiques, les chercheurs du laboratoire « Matière molle et

chimie » (École supérieure de physique et de chimie industrielle de la Ville de Paris/CNRS) ont conçu des matériaux élastiques capables de devenir adhésifs uniquement en cas de rupture.

Pour y parvenir, ils ont utilisé les méthodes de la chimie supramoléculaire, développée grâce, notamment, aux travaux du Prix Nobel de chimie, Jean-Marie Lehn, qui exploite les liaisons non pas entre atomes mais entre molécules. Or, en cas d'endommagement, ce sont ces liaisons supramoléculaires réversibles qui se rompent en premier. Il apparaît donc à la surface de rupture une population de molécules non liées qui ne demandent qu'à se réassocier pour redonner au matériau sa cohésion initiale. Avec cette découverte, ces chercheurs ont réussi le pari de mettre au point le premier solide qui soit à la fois élastique, non adhésif et autocicatrisant. D'ores et déjà, la société Arkema développe cette technologie sous la marque Reverlink.

L'étape suivante consiste maintenant à imaginer des matériaux plus rigides que les caoutchoucs et ayant le même comportement. Ces concepts d'objets autonomes, capables de s'autoréparer, ont suscité d'importants programmes de recherche et développement aux États-Unis et en Europe avec des applications dans des domaines aussi divers que l'électronique, les revêtements anticorrosion, les ciments et les routes. ■