

Points de vue de chercheurs

Jacques Livage

Pourquoi est-on chimiste et quelle est la place du chimiste dans la société ? C'est à ces questions qu'ont essayé de répondre quelques collègues universitaires. Science de la création, la chimie permet de comprendre le monde qui nous entoure et de participer à son développement. Engagé dans la vie scientifique et sociale, le chimiste crée les molécules et les matériaux dont le monde de demain sera fait !

Cet article est le fruit d'une concertation avec Marc Fontecave, Jacques Lucas, Andrée Marquet, Bernard Sillion et Michel Verdaguer.

Pourquoi la chimie ?

Choisir de consacrer sa vie à la chimie n'est pas un choix évident. Cette discipline, fort peu enseignée dans les collèges et lycées, apparaît souvent comme secondaire. Pour certains, les « leçons de choses » de l'école primaire ont éveillé leur curiosité pour le monde qui nous entoure. D'autres ont eu la chance d'avoir un enseignant dont la fougue et les qualités pédagogiques leur ont insufflé l'amour de la chimie. Cela n'est malheureusement pas fréquent et l'orientation de la plupart de nos collègues vers la chimie a souvent été le fruit d'une évolution progressive plutôt qu'un choix affirmé *a priori*.

Pourtant, une fois engagés dans cette voie, peu de chimistes regrettent leur choix et la chimie devient vite pour eux une passion.

Comprendre le comportement de la matière, comment elle se forme et se transforme. La science chimique permet

de décrire la composition de la matière inerte et vivante et contribue à en expliquer le fonctionnement. L'apparition de la vie sur Terre s'est faite *via* des processus chimiques. L'association d'atomes, la formation puis l'interaction de molécules simples a progressivement conduit à des édifices de plus en plus complexes qui ont donné naissance à la vie. Comprendre ce cheminement, voire même être capable de le reproduire est l'un des défis de la chimie du XXI^e siècle !

Créer de nouvelles molécules ou de nouveaux matériaux qui n'existaient pas jusque-là ou qui présentent des propriétés inattendues est sans conteste un puissant moteur pour des chercheurs curieux d'explorer le monde et motivés par le souci d'acquérir

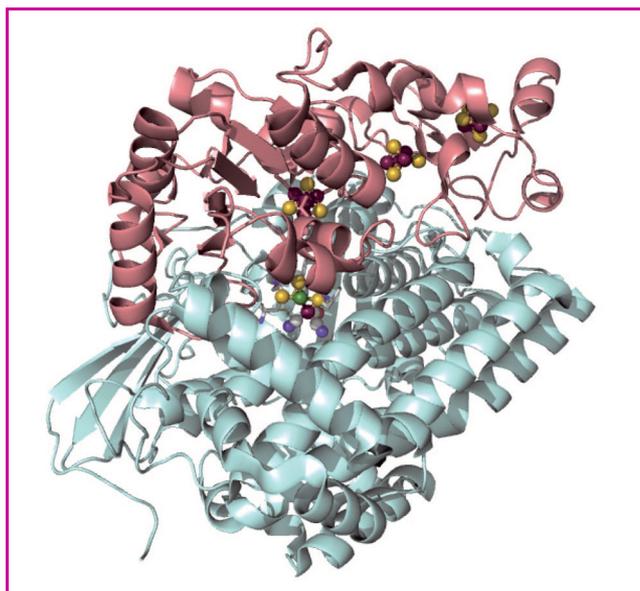
de nouvelles connaissances et de proposer de nouvelles applications issues de leurs recherches. La chimie est la science de la création, comparable en cela de la démarche artistique, à mi-chemin entre le rationnel et l'intuitif. Elle nécessite un esprit curieux, ouvert à l'imprévu, voire même à l'incongru. On ne crée pas en suivant le troupeau !

Ces deux démarches, comprendre et créer, marquent l'histoire de la chimie qui, pendant des siècles, a été une science de l'analyse. Comprendre comment est faite la matière en l'analysant jusque dans sa structure la plus intime a conduit à la découverte des éléments du tableau périodique qui remplacèrent les quatre éléments d'Aristote (l'eau, la terre, l'air et le feu). La mise en évidence, par Lavoisier, du rôle de l'oxygène lors de la combustion a mis fin à la théorie du « phlogistique », une forme particulière du feu, fixée dans la matière, et qui s'en échapperait lors de la combustion.

C'est au XIX^e siècle que la chimie se développe véritablement comme une science créative. La synthèse de l'urée par Wöhler en 1828, puis celle de l'acétylène par Marcellin Berthelot en 1862, montrèrent que l'on n'avait pas besoin d'invoquer la « force vitale » pour élaborer un composé organique. Des progrès gigantesques ont été réalisés avec la synthèse de molécules aussi complexes que la vitamine B12 dans les années 1970, suivies par beaucoup d'autres depuis.

Aujourd'hui, la chimie supramoléculaire ne s'intéresse pas seulement à ce qui se passe au sein des molécules, mais à ce qui se trame entre elles. Elle permet de comprendre et de contrôler la façon dont les molécules interagissent les unes avec les autres. Ces processus d'auto-organisation conduisent à la génération de nanostructures de plus en plus complexes, de la matière divisée à la matière condensée puis organisée, vivante et pensante.

**Être chimiste,
c'est comprendre et créer !**



Être chimiste, c'est comprendre : la chimie a permis de résoudre la structure de l'hydrogénase. Le site actif où se produit la réaction est un site binucléaire Ni-Fe.

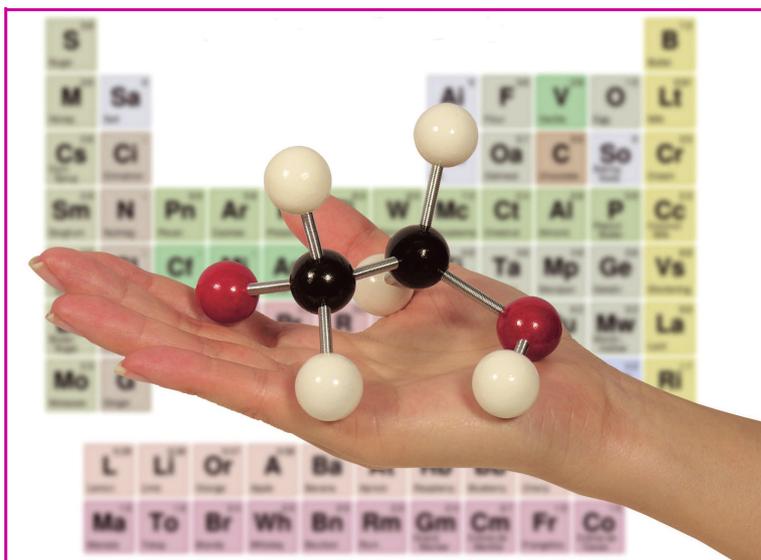
En vert : Ni, violet : Fe, jaune : S, bleu : CN. Illustration aimablement fournie par Marc Fontecave, DR.

La chimie a cela d'unique qu'elle s'est donné un langage universel, pratiqué et compris à travers la planète par toutes les disciplines. Ceci permet une « écriture » et une « lecture » de la matière dont nous sommes faits, de celle qui nous entoure, de celle enfin qui est possible. Ce langage s'appuie sur un alphabet original, celui de la classification périodique proposée en 1869 par le chimiste russe Mendeleïev, et une écriture simple proposée par le chimiste suédois Berzelius. Ce langage unifie les sciences biologiques et les lie aux sciences physiques. Si aujourd'hui le vivant peut être compris en termes rationnels, c'est en grande partie, et on l'oublie trop souvent, parce qu'il est exprimé dans le langage de la chimie.

La chimie offre donc un angle particulièrement pertinent pour comprendre le monde qui nous entoure et pour le modifier, directement ou à travers l'invention de nouvelles molécules et de matériaux originaux. Elle nous conduit à intervenir dans les disciplines voisines telles que la physique des matériaux ou la biologie. La distance avec l'application n'est jamais très grande et la perspective d'offrir à la société un nouveau médicament, agent de diagnostic, polymère ou catalyseur est enthousiasmante.

Chimie contre biologique ?

De nos jours, beaucoup de gens opposent « chimique » et « naturel », ou « chimie » et « bio ». On se méfie de tout ce qui est chimique tandis que l'épithète « bio » nous assure un avenir sans nuage. Ceci n'a à notre avis aucun sens. Les organismes biologiques, bien que fort complexes, ne sont que des systèmes chimiques. Comme le soulignait Georges Whitesides : « *The nature of the cell is an entirely molecular problem.* » L'importance de l'approche chimique « réductionniste » dans l'étude du vivant, à un moment de l'histoire des sciences de la vie où sont privilégiées les approches systémique et intégrative au détriment des approches moléculaires, a pour effet de compliquer l'interface chimie/biologie. Il existe une certaine tendance, que l'on pourrait qualifier de vitalisme modernisé, à penser qu'il y a quelque chose de particulier dans le « vivant » qui ne pourrait s'expliquer par les sciences physiques et chimiques. On reviendrait ainsi à la force vitale du



La chimie « s'écrit » et « se lit » grâce à un alphabet original, celui de la classification périodique proposée en 1869 par Mendeleïev.

© Stephen Coburn-Fotolia.com.

XVIII^e siècle, ce qui aurait un effet déplorable sur la société et sa perception de la science.

Pour le chimiste, la nature n'est pas un concurrent, voire un adversaire : c'est un partenaire dont il tente de valoriser les produits. Le chimiste ne travaille qu'avec les produits fournis par la nature. Comme le disait Léonard de Vinci : « *Quand la nature finit de produire ses propres espèces, l'homme avec les choses naturelles et l'aide de cette nature, commence à créer une infinité d'espèces* ». Cela pourrait être une bonne définition du chimiste ! Ce sont les transformations chimiques que l'équipe de Gif-sur-Yvette, autour de Pierre Potier, a fait « subir » aux alcaloïdes de la pervenche ou aux extraits de feuilles de l'if qui ont conduit respectivement à la Navelbine[®] et au Taxotère[®], deux antitumoraux qui ont fait avancer la lutte contre le cancer. Le caoutchouc naturel ne serait-il pas resté une curiosité parfaitement inutile si la chimie ne s'en était mêlée avec la vulcanisation, puis avec l'introduction de polybutadiène, et plus récemment de silice nanométrique pour produire un « pneu vert » qui permet d'économiser l'essence ?

La nature est aussi une formidable source d'inspiration. Comprendre comment elle arrive à élaborer des objets aussi merveilleux qu'une nacre, une molécule d'ADN ou une cellule vivante est un enjeu enthousiasmant. Et, à partir de là, imaginer de nouveaux objets utiles à l'humanité est un défi permanent.

Le chimiste dans la société

La recherche scientifique est un métier magnifique. C'est à la fois une aventure personnelle qui nous fait découvrir des mondes inconnus et celle de toute l'humanité qui marche vers son avenir. Nous occupons une position privilégiée au sein de la société. Nous lui sommes donc redevables et nous devons la faire bénéficier de nos découvertes en imaginant de nouveaux produits, en suscitant la création d'entreprises innovantes et en intensifiant la communication vers le public.

La chimie, science de la création, permet d'élaborer des objets nouveaux, inconnus auparavant et dont les propriétés peuvent être exceptionnelles. Ils peuvent parfois conduire à des produits nouveaux utiles au développement de l'humanité. Les produits issus de notre imagination ne doivent pas rester de simples curiosités de laboratoire. Il faut qu'ils soient utiles à la société et conduisent à des innovations. Pour cela, le chimiste doit bien sûr être à l'écoute de la société. La réponse aux grands enjeux sociétaux (santé, développement durable, énergie...) relève de plus en plus de la science et les citoyens attendent les réponses que les chercheurs peuvent proposer. Il est absolument nécessaire que le scientifique s'ouvre beaucoup plus à ces problématiques ; fini le « savant Cosinus », libre et pauvre, dans sa tour d'ivoire ! Il y trouvera indéniablement des sources de questions fondamentales en grand nombre.

Il faut aussi que les chimistes développent la communication vers un public très demandeur d'informations scientifiques. Cette confrontation directe est indispensable pour que le message chimique soit vrai, et non pas transformé par les médias et certains groupes de pression idéologiques, politiques ou économiques. Ceci suppose une ouverture d'esprit et une réceptivité aux arguments de nos contradicteurs, qui sont nombreux. C'est une nécessité « démocratique » pour que le citoyen dispose des éléments nécessaires afin de faire son propre choix dans des domaines tels que le nucléaire, les nanomatériaux ou les médicaments, pour s'en tenir à des polémiques récentes du débat public.



La nature, un partenaire pour le chimiste : les diatomées offrent un bon exemple de nanomatériaux (coques de silice) élaborés par le vivant dans des conditions de chimie douce et conduisent au développement des matériaux bio-inspirés. Photos : Pascal Lopez, DR.

De la création à l'application : les relations recherche/industrie

La chimie est une science appliquée par excellence. C'est aussi une industrie qui, en France, second secteur après l'automobile, représente une centaine de milliards d'euros de chiffre d'affaires pour plus d'un millier d'entreprises et 250 000 salariés, ce qui nous situe au second rang en Europe et au cinquième dans le monde.

Science de la synthèse de molécules et de matériaux nouveaux, la chimie élargit presque sans limite le monde matériel dans lequel nous vivons. Elle le façonne et peut répondre aux besoins de la société en élaborant des produits qui permettent d'améliorer notre santé, de lutter contre la pollution ou de développer de nouvelles sources d'énergie. Le chimiste est au cœur de tous ces problèmes auxquels il se doit d'apporter des solutions. Elles sont multiples tant le potentiel de transformation chimique de la matière est varié.

Mais tout cela ne sera possible que si le chimiste garde un esprit d'entreprise, soucieux de développer ou de faire développer les produits issus de son imagination. Nous devons développer un esprit d'entrepreneur et renforcer nos relations avec l'industrie. Ceci est d'autant plus important qu'en chimie, la frontière entre recherche fondamentale et applications est très mince. Dans notre domaine, il n'y a pas de recherche appliquée, il n'y a que des applications de la recherche. La recherche purement finalisée n'a jamais rien donné de bien nouveau. Elle ne permet guère que d'améliorer l'existant. Les grandes découvertes et les applications qui en découlent sont essentiellement venues de projets non finalisés, initiés par des chercheurs dans leurs laboratoires. Entre ces deux pôles, il faut trouver le juste milieu, ce qui n'est pas toujours évident.

La chimie est à la fois une discipline scientifique et une industrie. Les relations entre ces deux pôles sont indispen-

sables mais malheureusement insuffisantes. *Indispensables* pour deux raisons. D'abord, parce que les questions que pose l'industrie, même les plus triviales, ont toujours des implications fondamentales dignes d'intérêt. Par ailleurs, il est important que les problématiques initiées *de novo* par les chimistes dits académiques puissent être « validées » par ceux qui connaissent les contraintes de l'application. Beaucoup trop de recherches dans le système public, avec soit disant des applications potentielles, sont en réalité traitées de façon inadéquate par manque de confrontation avec les réalités industrielles. *Insuffisantes*, essentiellement parce qu'un grand nombre d'entreprises ont jugé qu'il valait mieux traiter les sujets en interne plutôt qu'en partenariat avec des laboratoires publics. C'est une erreur pour tout le monde. Également, et ceci est spécifiquement français, à cause de la méconnaissance persistante que les industriels ont du monde académique et réciproquement. Le manque de confiance qui en résulte soulève à nouveau la question du statut de la thèse par rapport au titre d'ingénieur. La thèse n'a pas, dans notre pays, la valeur qu'elle mérite et qu'elle a dans les autres pays développés. Les cadres de l'industrie viennent essentiellement des « grandes écoles » ; ils ont souvent été insuffisamment confrontés à la recherche universitaire. Il y a souvent un décalage entre le rythme de la recherche fondamentale et celui de la recherche industrielle. L'approfondissement d'un sujet industriel, souvent nécessaire si on veut bien le résoudre, n'a pas la même constante de temps que la satisfaction immédiate du besoin industriel, lié à une contrainte économique ou à la concurrence. Marcher d'un même pas nécessiterait davantage de moyens côté académique et moins de pression côté industriel.

L'avenir de la chimie nécessite de trouver les acteurs institutionnels qui permettent aux découvertes de sortir des laboratoires. Ce travail n'est plus du ressort de l'industrie, qui a assez de mal à se battre sur le terrain de la production et du commerce. Il faut inventer et trouver de nouveaux outils publics pour gérer ce que l'on nomme le transfert, l'incubation ou plus généralement l'innovation. Le système américain SBIR (« small business innovative research ») nous offre un exemple de ce qu'il serait souhaitable de faire. Ce programme est destiné à soutenir l'innovation dans les PME/PMI sous forme de subventions obtenues en réponse aux appels d'offre proposés par les principales agences de recherche fédérales (défense, santé, énergie, National Science Foundation – NSF...).

Quel avenir pour la chimie ?

La chimie joue un rôle central tant par sa place au sein des sciences de la nature que par son importance économique et son omniprésence dans notre vie quotidienne. Elle contribue de façon déterminante aux besoins de l'humanité en eau, nourriture, médicaments, vêtements et habitat, en énergie et matières premières, en transports et communications. C'est donc aux interfaces entre la chimie, la biologie, la physique, les sciences de la Terre et la société que s'ouvrent les voies d'avenir les plus riches. Cela lui donne la possibilité d'intervenir de façon pertinente et originale sur pratiquement tous les grands défis de l'humanité du XXI^e siècle (alimentation, énergie, santé, environnement, etc.). En effet, si aujourd'hui les disciplines sont devenues essentiellement interdépendantes, la chimie est probablement celle qui a le plus souvent et le plus profondément multiplié ses incursions chez les autres – sciences de la vie et de la santé, physique et matériaux, sciences pour l'ingénieur, sciences de la Terre et de

l'environnement. Le développement de ces interfaces constitue sans nul doute l'un des enjeux les plus importants de la science contemporaine. La chimie se trouve parfois écartelée au sein de ces domaines interdisciplinaires, mais cela lui permet d'ouvrir de nouveaux horizons et d'enrichir ses champs d'applications. Son visage a beaucoup changé au cours des dernières décennies. Les anciennes barrières entre chimie minérale et chimie organique disparaissent pour faire place à des thèmes plus larges tels que « moléculaire », « matériaux » ou « matière molle », ouverts vers les disciplines voisines que sont la physique et la biologie.

Nos sociétés se trouvent confrontées à de nombreux enjeux tels que l'énergie, la santé, l'environnement ou l'alimentation de plusieurs milliards d'êtres humains. La chimie d'avenir sera celle qui abordera de front ces questions sociétales en répondant aux problèmes fondamentaux qu'elles soulèvent et en développant les molécules et les matériaux imaginés par le chimiste. La construction d'une société durable, dans laquelle les hommes sauront enfin satisfaire leurs besoins sans compromettre l'avenir des générations futures, demandera à la science de trouver des stratégies innovantes, propres, économiques, efficaces et surtout durables pour la production de médicaments, de matériaux, de carburants et d'électricité. Il est évident que la chimie, celle qu'on nomme désormais « verte », jouera un rôle majeur dans le développement d'une science toujours plus consciente de ses responsabilités sociales. Elle traduira dans

des procédés de synthèse nouveaux son souci d'utiliser sans les gêner les ressources fossiles, de rechercher des matières premières renouvelables, de tenir compte de la toxicité potentielle des solvants, produits et réactifs, de limiter enfin les déchets et les dépenses d'énergie.

Il y a urgence à développer des domaines tels que la toxicologie. La compréhension à l'échelle moléculaire de l'impact d'un produit chimique sur un organisme vivant complexe constitue un passionnant défi pour le chimiste. Il doit s'attacher à établir cette relation structure chimique/toxicité qui permettra non seulement d'éviter l'introduction dans notre environnement de substances toxiques, mais également de valider, dans les cas favorables, l'exploitation de composés nouveaux, devenue de plus en plus difficile.

Notre futur se construira autour des molécules et des matériaux inventés dans les laboratoires de chimie.



Jacques Livage

est professeur honoraire au Collège de France* et membre de l'Académie des sciences.

* Chimie de la Matière condensée, Collège de France, 11 place Marcelin Berthelot, F-75231 Paris Cedex 05.
Courriel : jacques.livage@upmc.fr

PHIL Le chiMiste

Bonjour à tous !
Aujourd'hui, je vais vous montrer comment déterminer un pH, acide ou basique, d'une solution.

Et le chou multicolore...

Les chimistes utilisent généralement un papier jaune un peu magique, le papier pH, qui change de couleur en fonction de l'acidité.

Le chou rouge, comme de nombreuses fleurs, contient des anthocyanes qui lui donnent cette jolie couleur violette...

...Mais la couleur de ce pigment dépend du pH et si on arrive à extraire cette jolie molécule, on aura alors un indicateur couleur 100 % naturel.

1 Tout d'abord commençons par couper un chou en deux puis en petites lamelles.

2 Mettons ensuite les lamelles dans une casserole et recouvrons les d'eau.

3 Chauffons ensuite à ébullition en remuant de temps en temps. Nous devons laisser bouillir 15 à 20 minutes.

Séparons maintenant le chou de son jus de cuisson en prenant une cafetière et un filtre à café... ou une passoire.

On obtient une superbe solution bleue ! et le chou est devenu tout bleu-gris.

Brrr !... Il ne sent pas très bon ce café !

Remplissons maintenant quelques tubes à essais de cette jolie solution bleue.

Ajoutons maintenant :

- Dans le 1^{er} tube un peu de jus de citron,
- Dans le 2^{ème} un peu de vinaigre blanc,
- Dans le 3^{ème} de l'eau déminéralisée,
- Dans le 4^{ème} du savon,
- Dans le 5^{ème} de la soude...

Eeeehh ! La couleur bleue a disparu !!

La couleur rouge indique un pH acide comme dans le cas du citron et du vinaigre, la coloration bleue indique un pH neutre comme dans le cas de l'eau déminéralisée et la coloration jaune rend compte d'un pH basique comme dans le cas de la soude.

Vous reprendrez bien un jus de chou avec un peu d'anthocyanes ?

Grâce à cet indicateur naturel, on peut ainsi déterminer l'acidité de nombreux produits.

Couleur du tube (1) Couleur du tube (2) Couleur du tube (4) Couleur du tube (5)

A bientôt pour de nouvelles aventures...

Chimie et Société

www.maisondelachimie.asso.fr/chimiesociete

© Bruno Maesson (bruno.maesson@educagri.fr) et Claude Gros (Claude.Gros@u-bourgogne.fr)