



P aul CARO

Paul Caro est chimiste, directeur de recherche honoraire au CNRS, et membre correspondant de l'Académie des Sciences, Membre de l'Académie des Technologies et ancien directeur scientifique de la Cité des Sciences et de l'Industrie.

Il préside le jury du Prix Jean Rostand. Ce prix, décerné annuellement par le MURS, est destiné à encourager les activités de vulgarisation mettant en lumière la grande aventure de l'esprit humain dans le domaine des sciences et techniques.

La chimie, image et vérité

Je suis chimiste. Je vais essayer, non pas de faire une illustration et une défense de la chimie, mais de décrire la situation de la chimie aujourd'hui, surtout vis-à-vis de l'opinion publique. La chimie, comme beaucoup de fractions de la science, est crainte ou critiquée et même parfois durement critiquée. Je vais essayer de mettre cette situation dans *une perspective culturelle* pour faire ensuite référence à toutes les initiatives qui sont prises aujourd'hui par la recherche et l'industrie pour rendre la chimie non pas plus aimable, mais certainement plus sûre et pour diminuer les craintes qu'elle peut inspirer.

L'IMAGE DE LA CHIMIE DANS LA LITTÉRATURE

L'image de la chimie dans la littérature populaire a été fabriquée depuis très longtemps puisque, quelque part, la chimie a hérité de l'alchimie et de tout ce qu'elle peut contenir comme prétentions illusoire et comme comportements un peu fous. Le dangereux savant fou que l'on trouve énormément dans la médiatisation, les films, la télévision, est souvent un alchimiste capable de provoquer des explosions et des trans-

formations. Une des raisons majeures pour laquelle la chimie est crainte, c'est pour son pouvoir de transformer les choses. On craint les potions qui vont transformer le joli crapaud en beau prince ou l'inverse, c'est à dire les potions magiques de toutes natures et les poisons, tout ce qui va exercer sur le corps une action. Le problème essentiel de la chimie, plus que toute autre science, est qu'elle a un rapport extrêmement intime au corps ; donc elle est perçue de manière radicalement différente. On a l'impression, quelquefois, que la chimie, soit agresse le corps, (elle sent mauvais, elle irrite, donc elle a une action physique sur le corps), soit on craint une action quasiment secrète qui risque de provoquer des transformations sur le corps.

La chimie est mal connue surtout parce qu'elle emploie un langage spécifique utilisant des formules. C'est un peu comme les mathématiques. En l'occurrence, les formules chimiques qui ont un rapport direct aux choses et qui représentent des éléments matériels paraissent dangereuses dans la mesure où ce langage impénétrable aux profanes peut cacher des secrets et surtout être efficace.

Le meilleur moyen d'avoir une idée de ce qu'est l'idée populaire de la chimie est de voir comment elle s'introduit dans les bandes

dessinées. Le Grand Schtroumpf et Gargamel ont chacun leur laboratoire et se livrent à des opérations de chimie. On constate que tous les deux ont un grand chaudron dans lequel bout un liquide avec un feu en dessous. Cela se passe dans une cave et, quand on analyse un peu la symbolique de tout cela, on s'aperçoit que c'est une symbolique pour la synthèse. Dans le chaudron, on fait des synthèses, bonnes ou mauvaises d'ailleurs, mais qui vont servir à quoi ? A exercer un pouvoir ! Donc, quelque part, la chimie, comme beaucoup de choses dans le domaine de la science, est liée à un pouvoir, qui peut être bon comme c'est le cas du Grand Schtroumpf, ou mauvais comme c'est le cas de Gargamel. L'imagerie des deux laboratoires est exactement la même : on a toujours un aspect mathématique parce qu'ils comptent les gouttes qu'ils mettent dans le breuvage à fabriquer. On voit bien que le chiffre est également associé à cette image de la chimie.

Il n'y a pas que les héros des *comics* pour illustrer la vision populaire de la chimie, avec au-dessus de tout, la crainte de l'apprenti sorcier. Quand on examine les scénarios de ces histoires, on s'aperçoit qu'à un certain moment, il y a un grimoire, symbole du savoir secret codé réservé aux initiés. En déchiffrant le grimoire, le héros fait une faute de lecture, une erreur, et il s'ensuit toute une série de catastrophes. On reconnaît là un élément de scénario dramatique qui est largement utilisé par le cinéma ou d'autres systèmes de spectacles pour inventer des histoires dans lesquelles la science joue fina-

lement un rôle assez important. Naturellement, on y trouve aussi des aperçus psychologiques : le thème de la passion ruineuse, la solitude du savant accroché à ses cornues, la poursuite du rêve de l'alchimie souvent et l'expression d'un individualisme forcené indifférent aux risques de ses découvertes et capable de vendre son âme au diable. Nous en avons un bon exemple dans le roman de Balzac, « La recherche de l'absolu » (1834). Dans « César Birotteau » (1837), où intervient le chimiste Vauquelin, s'annonce une autre forme de pouvoir, le pouvoir économique lié à la connaissance scientifique.. César Birotteau, qui est un parfumeur, cherche à faire fortune avec des recettes de chimie en consultant le grand savant chimiste que fut Vauquelin. Donc, il y a dans la littérature une certaine représentation de la chimie presque toujours associée au pouvoir d'une part, et à la passion d'autre part. Une passion souvent destructrice ...

CE QU'EST VRAIMENT LA CHIMIE

Après ces images, il faut montrer ce qu'est vraiment la chimie. On a besoin d'aller au-delà des ces images archétypales que véhicule la culture. C'est là le problème de la science en général. Pour rendre la science plus aimable et mieux connue, il faut développer la vulgarisation en profitant des histoires que l'on peut raconter à travers les publications, images et expositions, comme ici,

au Palais de la Découverte. La chimie y est rendue aimable par une série d'expériences spectaculaires ; il y a en particulier l'expérience de l'air liquide qui frappe toujours les visiteurs parce qu'il y a toute une mise en scène spectaculaire qui fait que l'on s'intéresse fatalement à la question qui est traitée par le conférencier.

Il faut dire que, dans la situation que nous vivons actuellement, la chimie universitaire et l'industrie chimique se sont engagées dans une grande entreprise destinée à mettre la chimie dans la ligne du développement durable et de la protection de l'environnement. Je ne l'ai pas fait exprès mais le dernier numéro du journal interne du CNRS, s'intitule « *Plus sûre, plus propre, plus efficace, la chimie passe au vert* ». On y trouve une description de toute une série d'actions qui sont conduites pour rendre la chimie plus acceptable par la société, en raison naturellement des craintes qu'elle suscite dans les questions liées à la santé et à l'environnement. La santé, c'est la vieille crainte universelle de l'empoisonnement. L'environnement, c'est la crainte de la pollution que peuvent engendrer les activités chimiques, et notamment l'immense inquiétude liée à la dioxine et la crémation des déchets qui ont conduit à de véritables psychoses dans certaines régions françaises. Le problème est donc extrêmement sérieux.

La chimie est l'une des principales industries mondiales, directement concernée par la notion de développement durable. Elle est souvent accusée de maltraiter l'environnement.

Les responsables de l'industrie chimique ont réagi vigoureusement et tentent de démontrer leur intérêt pour un développement durable et leur capacité technique à relever le défi. On peut citer l'exemple de la dioxine qui est une substance que l'on dose à des quantités extrêmement faibles de l'ordre de 10^{-17} , je crois, ce qui est quelque chose de tout à fait fantastique. Si l'on fait une analyse dans cette salle, on va en trouver, bien entendu, car à ces dilutions-là, on peut toujours trouver une molécule d'une espèce de ce genre. On peut donc trouver des facteurs de risque partout.

Le développement durable est une expression que l'on entend maintenant partout. Qu'est-ce que c'est ? Il est apparu sur la scène politique en 1987 dans le rapport d'une Commission qui s'appelait « Environnement et Développement » dirigée par Madame Bruntland qui était Ministre en Norvège à l'époque. Le développement durable est « *celui qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs* ». C'est une idée déjà ancienne. Le président américain Jefferson en 1789 avait déjà dit quelque chose de ce genre. Le thème connaît aujourd'hui une grande fortune politique et forme l'horizon d'un projet mondial et peut-être d'une utopie universelle. On sait bien que les utopies permettent de progresser. Il y a une définition qui est plus politique et vertueuse, elle est due à l'ASTS (Association Science Technologie Société, une ONG qui se consacre au développement de la communication

scientifique) qui insiste sur le fait que le développement durable est « *une discipline, si on peut dire, qui se situe au croisement de l'efficacité économique, de l'équité sociale et du respect de l'environnement* ». C'est typiquement quelque chose que l'on peut qualifier de « pluridisciplinaire ». Il ne suffit pas d'avoir des mesures chimiques, il ne suffit pas d'évaluer le coût économique d'un procédé, il faut aussi s'assurer que, dans le domaine des sciences sociales, les choses sont acceptées, ce qui est certainement le point le plus délicat et le plus faible de toutes ces questions de rapport entre la science et la société. Donc, il y a trois composantes :

- l'objectif social, et les besoins de la société, qui est un point extrêmement délicat. La société se crée des besoins qui ne sont pas forcément des besoins nécessaires ;
- l'objectif économique. Il s'agit de bien utiliser des ressources rares. C'est évident dans nos périodes d'économie d'énergie ;
- l'objectif environnemental qui consiste à ne pas défigurer la planète.

En principe, il y a la combinaison de tous ces facteurs dans le développement durable.

Alors, qu'est-ce que la chimie ? La chimie est un *corpus* de connaissances très ancien dans l'histoire de l'humanité. Elle est présen-

te comme science empirique dans l'activité économique et culturelle dès la plus haute antiquité. Ses objectifs sont très précis. Elle a contribué à modifier très profondément la vie quotidienne et la culture et continue à le faire dans les lignes traditionnelles de son action historique. La chimie est si commune autour de nous qu'elle en est presque invisible.

LA CHIMIE DEPUIS L'ANTIQUITÉ

La chimie a existé bien avant l'ère industrielle ! Si vous avez eu la chance de visiter l'année dernière au Musée du Louvre l'exposition « Faïences » montrant ces objets bleutés, vous savez que c'est une fritte (c'est le langage du chimiste qui parle) obtenue à partir d'un mélange de sable, de fondant et d'un silicate de cuivre.



Figure 1 Hippotame Bleu Musée du Louvre

Les Egyptiens savaient à partir du quatrième millénaire avant notre ère fabriquer de la faïence et du verre à partir d'une technique de chauffage à 900 degrés centigrades. Ces produits, bijoux, porte-bonheurs, amulettes, petites statuettes, récipients, décors d'habitation, faisaient l'objet d'une diffusion internationale. Naturellement, c'étaient avant tout des produits de la culture égyptienne, laquelle s'exprimait par ces objets très répandus. Leur fabrication utilisait des matériaux naturels que l'on trouvait dans les territoires égyptiens ; mais, il faut chauffer à 900 degrés, ce qui demande une source d'énergie.



Figure 2 Peinture préhistorique Musée du Louvre

Voilà quelque chose qui est plus ancien encore : c'est un dessin dans une grotte. Voilà aussi une stèle égyptienne. Ce sont des documents que j'ai empruntés sur le

site Web du Musée du Louvre. C'est la pratique de la peinture et non pas la fabrication de petits objets bleus. C'est très ancien et cela fait appel à une connaissance de la pratique chimique basée sur l'observation : noir de carbone, ocre et pigments naturels ou fabriqués. Les tatouages et peintures corporelles sont très répandus et servent



Figure 3 Stèle égyptienne Musée du Louvre

aussi à décorer le corps. La peinture est une forme d'activité chimique très ancienne. Il existait des recettes pour fabriquer les pigments bleus en fonction de la température de cuisson du produit chimique (minéraux de cuivre). On pouvait avoir une teinte sombre ou une teinte claire.

La préparation des parfums fait aussi l'objet des techniques de chimie les plus anciennes, comme l'extraction par l'eau. On appelle cela « l'enfleurage » qui permet de faire passer une molécule odorante d'un végétal à une graisse ou à une huile à chaud ou à froid. Le produit peut ensuite être utilisé comme onguent ou comme parfum.

Récemment, une des missions du CNRS en Egypte a récupéré des petits pots pleins de fard et les a analysés. Les chercheurs ont pu retrouver quelle était la composition des fards de l'Egypte ancienne. C'est une matière minérale. Leur usage va du religieux à l'élégance et à la médecine. L'élégance, cela veut dire la décoration des dames et des messieurs. On a identifié 4 phases principales, la galène, la césurite, la laurionite et la phosgénite. Ce sont des composés à base de plomb. Les deux derniers composés ont d'ailleurs été synthétisés dans un laboratoire égyptien par des techniques de chimie en solution. Ce ne sont pas des produits naturels ramassés dans le désert. La galène, le sulfure de plomb, en est le minéral principal, bien connu des fards noirs de l'Egypte ancienne et des khôls ; il est encore traditionnellement utilisé aujourd'hui dans

certains pays d'Orient, d'Asie et d'Afrique du Nord. Vous avez remarqué tout de suite que ce sont des composés à base de plomb. Nous savons tous maintenant que le plomb est un matériau toxique qui provoque des désordres nerveux. Il y avait autrefois, dans l'antiquité, un usage énorme et considérable du plomb, en particulier pour les maquillages. L'usage des fards et de la peinture se combine dans la décoration des sarcophages de momies.



Figure 4 Momie Musée du Louvre

Il y a aussi un usage de la chimie pour fabriquer des remèdes. On peut trouver des papyrus qui donnent des recettes dont on ne sait pas trop si elles sont bien fiables. Du moins, je ne sais pas trop si elles ont été essayées dans les temps modernes car il y en a une assez curieuse à base d'urine de chauve-souris. C'est peut-être efficace, après tout, mais je ne crois pas que le CNRS ait poussé les expériences jusqu'à faire des essais pharmacologiques sur ces produits !

Il y a une autre technique antique, la métallurgie, qui peut être liée à la chimie et qui est tout aussi ancienne que les techniques de fabrication des pigments, des produits de beauté et des parfums, mais il y a une différence. Alors que les plus anciennes applications de la connaissance chimique produisent des matériaux qui ne servent qu'au jeu social - comme le maquillage et le parfum qui vont avec le corps mais qui servent aussi à faciliter les relations sociales (elles ne sont donc pas indispensables sur le plan matériel mais peuvent contribuer par leur commerce à la richesse économique) par la symbolique qu'elles expriment et la domination religieuse - les métaux eux, qui peuvent aussi être utilisés pour fabriquer des objets d'art, permettent avant tout de fabriquer des outils et des armes qui sont des prothèses (des prolongations du corps physiologique). Ils facilitent le travail et la guerre et contribuent en somme à établir la puissance.

Jusqu'au milieu du XVIII^{ème} siècle, la chimie alimentait les applications de même

nature que dans l'Égypte ancienne : chimie de la décoration somptuaire surtout pour le plaisir des couleurs, teintures ou peintures, chimie de la beauté pour les maquillages et les parfums, chimie de l'alimentation et, un peu, chimie de la médecine. Donc, la chimie sert d'abord au corps qu'elle embellit ou soigne et au plaisir de l'esprit esthétique. Le premier livre de vulgarisation de la chimie « *Chymie charitable et facile en faveur des dames* », écrit par en 1666 par Marie Meurdrac et réédité en 2000 au CNRS à l'occasion de l'Année de la Chimie, considère essentiellement la chimie des végétaux en rapport avec des recettes de beauté et des remèdes. Je rappelle pour les dames présentes dans l'assistance que la préface de ce traité de chimie est la première manifestation publique de l'affirmation du droit des femmes à faire de la science, il affirme que les femmes ont la même capacité intellectuelle que les hommes pour faire de la recherche et de la science. C'est donc une préface féministe assez peu connue mais qui est extrêmement claire dans ses revendications. Il est heureux que la chimie ait fourni en somme la première femme savante. Je ne sais pas si Marie Meurdrac a servi de modèle aux premières femmes savantes. C'est possible puisque c'est à peu près à la même époque. Mais sa position est extrêmement intéressante sur le plan de l'histoire des rapports hommes / femmes. La chimie a un côté féminin toujours dû au rapport au corps, ce qui fait que même dans la chimie aujourd'hui, il y a beaucoup de femmes. Au CNRS, par exemple, il y a moitié de femmes dans les

sections de chimie, ce qui n'est pas vraiment le cas de toutes les sections. Marie Meurdrac souligne bien que les opérations de la chimie peuvent se faire au coin du feu ou sur un espace restreint, simplement parce que l'on n'utilise qu'une faible quantité. Il n'y a donc pas de risque de pollution.

Mais la métallurgie a pollué très tôt. La majorité du plomb contenu dans le sol européen aujourd'hui correspond à l'activité des unités industrielles de l'Empire Romain. La Suède et le Nord de l'Allemagne sont des régions extrêmement polluées par les fabriques de plomb de l'Allemagne du Sud à l'époque romaine. Il reste aujourd'hui des traces de ces activités industrielles de fabrication du plomb.

Au Moyen Age, on a connu la culture à grande échelle de la guède, qui est une plante, donc ressource renouvelable, source du pastel qui permet de fabriquer un colorant, l'indigo. Il y avait des fabriques d'indigo très polluantes à cause de l'odeur associée à la fermentation du pastel. En raison de cela, apparaissent les premiers arrêtés de lutte contre la pollution signés d'Elizabeth I d'Angleterre qui ne voulait pas que ces fabriques s'installent à moins de 15 kilomètres de ses châteaux et possessions. L'indigo, c'est ce qui sert à teindre les jeans aujourd'hui. D'ailleurs on dit souvent que ce sont des étoffes « denim » (D E N I M en américain) parce que, en fait, c'est une technologie qui était originaire de Nîmes, dans le Sud de la France. On a gardé cette appellation, « denim », pour ces

tissus teints avec de l'indigo. Aujourd'hui, on sait faire de l'indigo par d'autres moyens.

Naturellement, se pose le problème du combustible nécessaire pour obtenir les parfois hautes températures, aux alentours de 1 000 degrés, demandées par les opérations de chimie ancienne comme la fabrication du verre et des colorants minéraux. Evidemment, le combustible a été essentiellement le bois avec de grandes conséquences sur l'environnement. Les rois d'Angleterre, en particulier, ont été obligés d'interdire l'exploitation de forêts, du fait qu'elles disparaissaient très rapidement à cause du développement des industries du verre. La forêt était bien moins étendue au Moyen Age en Europe qu'elle ne l'est aujourd'hui. Une importante reforestation s'est faite parce que l'on a eu moins besoin de bois. Par exemple, les verreries étaient installées dans les forêts.

LA CHIMIE À L'ÈRE INDUSTRIELLE

Les technologies, usages et pratiques de la chimie n'ont pas beaucoup évolué jusqu'au milieu du XVIII^{ème} siècle. Mais, là, une rupture se produit pour trois raisons qui sont relativement contemporaines :

- tout d'abord, la maîtrise des techniques de combustion, de la machine à vapeur au départ à la fusée Ariane aujourd'hui. On a non seulement trouvé des carburants diffé-

rents mais des moyens de les faire brûler de manière plus économique. Pour exemple, le moteur à explosion qui a permis la fabrication de véhicules.

- puis, il y a ce que j'appelle la domestication de l'électron. Le 20 mars 1800 est une date que l'on devrait célébrer puisque c'est l'annonce de la découverte de la pile électrique par Volta. C'est la première fois que ce qui sera plus tard l'électron est produit de manière contrôlée par une opération technique. Autrefois on fabriquait des électrons de manière sauvage par des machines électrostatiques dont les décharges étaient violentes ou encore, par la capture de la foudre. Mais, avec la pile électrique de Volta, on domestique l'électron. C'est une grande date dans l'histoire de l'humanité. A partir de là, l'homme va disposer d'une source d'énergie nouvelle, d'une source de communication nouvelle et d'une source de compréhension de la matière nouvelle. C'est quelque chose d'extrêmement important parce que cela change la nature de la recherche et de la science. L'humanité est entrée dans une ère nouvelle le 20 mars 1800.

- un peu avant, en septembre 1799, un « illuminé » si je peux dire, qui s'appelait Philippe Lebon avait essayé de fabriquer un réverbère à gaz de bois dans ce qui est aujourd'hui la Maison de la Chimie et qui s'appelait à l'époque l'Hôtel de Seignelay. Il avait là essayé de démontrer que l'on pouvait éclairer les villes avec un éclairage intense que l'on appellerait aujourd'hui un

flux de photons, les photons étant les particules élémentaires qui portent la lumière. Les gens trouvaient que cela éclairait bien, mais cela n'a pas réussi parce que cela sentait mauvais. L'idée a été reprise un peu plus tard à Londres et, peu à peu, toutes les grandes villes du monde vont s'éclairer au gaz. Avec Philippe Lebon, c'est le début du meurtre de la nuit. Notre relation à la nuit a changé avec l'éclairage nocturne. Le contrôle des photons ne va pas s'arrêter là et, tout au long du XIX^{ème} siècle, se produit la conquête de toutes les parties de la gamme de longueur d'ondes des photons, depuis l'infrarouge jusqu'aux rayons X en passant par quelque chose d'important, la découverte des ondes radio. Les ondes radio vont permettre la communication à grande distance. Toute cette gamme d'énergie des photons va être découverte peu à peu, jusqu'au rayonnement laser qui est un rayonnement électromagnétique cohérent, alors que la plupart des sources de lumière sont incohérentes, les ondes n'étant pas toutes en phase les unes avec les autres.

Pour résumer la technologie depuis 1750, il y a eu ces trois types de progrès : maîtrise de la combustion d'une part, et d'autre part la domestication de l'électron et la domestication du photon dans toutes les gammes de longueur d'ondes. Naturellement, on n'aurait pas pu exploiter ces choses-là si la chimie n'avait pas permis de fabriquer des matériaux qui permettent de mettre en œuvre les propriétés, ou même, qui en sont la source.

On va voir apparaître des technologies qui fonctionnent comme des prothèses qui augmentent les capacités du corps humain : avion, télévision, automobile. On utilise ce terme de « prothèse » depuis les années 60 quand Marshall McLuhan a commencé à étudier la philosophie des médias. Elles sont indispensables et leur absence est perçue comme une amputation. Ce point-là est extrêmement important pour les relations sociales. Si vous n'avez pas de voiture, de télévision, etc., vous percevez cela comme une amputation. On ne dispose pas de ces prolongements du corps que les autres utilisent. A mon avis, on ne pourra pas faire accepter un recul de l'usage de ces technologies et les stratégies de développement durable doivent en tenir compte.

En même temps, quelle est l'origine des produits chimiques ? Outre les minéraux naturels et les produits obtenus par la grande industrie minérale (soude, acide sulfurique, chlore et ammoniac), une grande variété de produits organiques est obtenue à partir de substances naturelles par des techniques de distillation : le bois, la houille, le lignite, la tourbe, les schistes bitumineux. C'est toute l'histoire de la chimie du XIX^{ème} siècle. Et puis, surtout, il y a le pétrole qui a été « inventé » (il y en a au Moyen Orient à l'état naturel) le 27 août 1859 par le premier forage pétrolier à Titusville en Pennsylvanie. On sait que ce pétrole deviendra essentiel pour alimenter les moteurs à explosion des automobiles et de l'aviation. Il sera, à partir de 1920-1930, un produit essentiel de l'économie mondiale.

Maintenant, les techniques poussent à la miniaturisation, à mettre au point des objets complexes à faible volume. Dans le Journal du CNRS, on décrit des petits réacteurs aux dimensions atomiques que l'on arrive à fabriquer dans certains matériaux. On peut faire comme cela des réactions chimiques. Cette idée du petit, de l'analysé à dimension atomique est une idée de la recherche actuelle. On peut penser que cela va se développer.

QUELLES SONT LES STRATÉGIES DES CHIMISTES VERS LE DÉVELOPPEMENT DURABLE ?

D'abord, combien est-ce qu'il y a de produits chimiques ? Je cite le Livre Blanc « Stratégie pour la future politique dans le domaine des substances chimiques », document de l'Union Européenne : « *La production mondiale de substances chimiques est passée de 1 million de tonnes en 1930 à 400 millions de tonnes aujourd'hui. Près de 100 000 substances différentes sont enregistrées sur le marché communautaire, dont 10 000 commercialisées en quantité annuelle supérieure à 10 tonnes et 20 000 en quantité comprise entre 1 et 10 tonnes* ». On doit ajouter que l'industrie chimique européenne était en 1998 la première industrie chimique du monde ! Donc, il ne s'agit pas d'une petite affaire sur le plan politique ou économique. La source de cette répartition est le CEFIC, le lobby de l'industrie chimique à Bruxelles. On voit que les parfums et les cosmétiques utili-

sent toujours une part importante, ainsi que les peintures. Ce sont des industries extrê-

mement traditionnelles puisqu'elles remontent à l'antiquité.

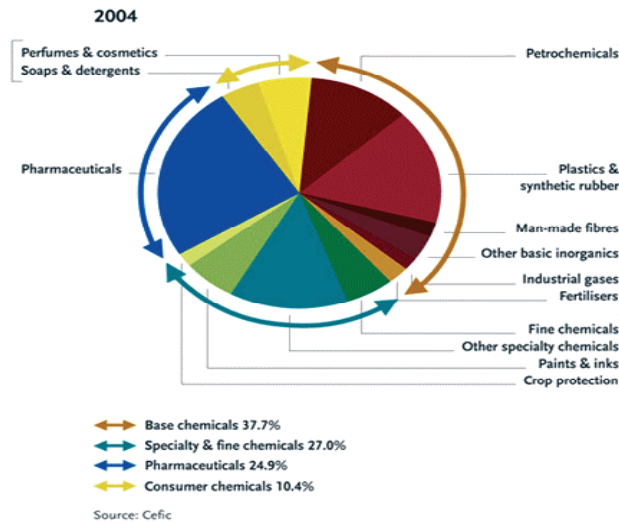
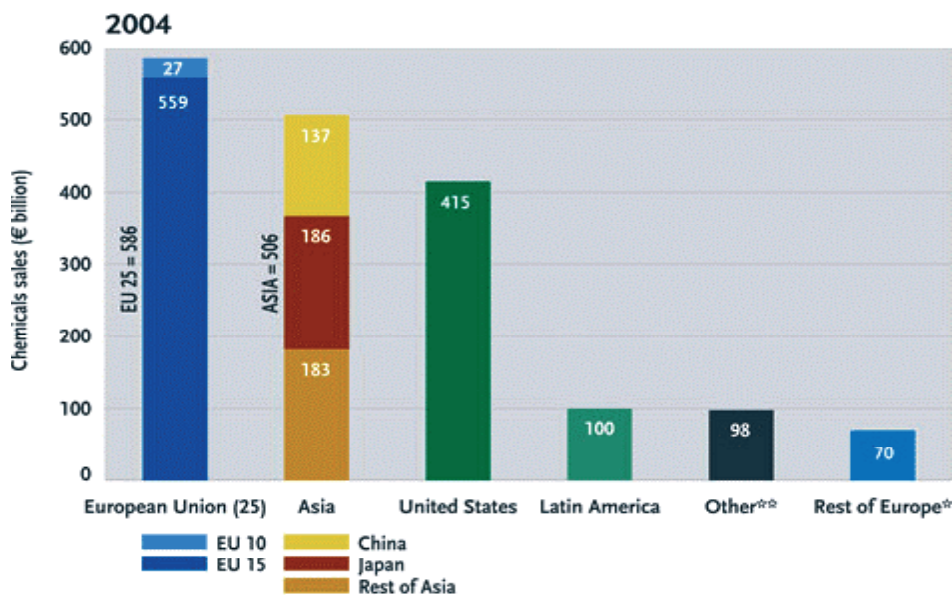


Figure 5 Répartition des industries chimiques ACC & CEFIC Bruxelles

La chimie est donc l'une des premières industries de l'Union Européenne ; l'Union Européenne est la première devant l'Asie et les Etats-Unis. On voit que cela représente 33 % du total, c'est considérable. On ne peut pas, en Europe, se désintéresser du sort de l'industrie chimique, puisque la puissance de l'industrie chimique est l'un de nos principaux avantages. L'Europe a proposé une stratégie pour la future politique communautaire dans le domaine des substances chimiques dont la finalité est encore le développement durable. Pour apprécier le niveau de danger pour

la santé publique - puisque c'est cela qui fait que l'image de la chimie est mauvaise (les gens ont peur d'être empoisonnés par les rejets, par les détritux divers) - on a proposé de mettre en place un système que l'on appelle REACH (*Registration Evaluation and Authorization for CHEmicals*). Ce système-là est toujours en débat et pas complètement adopté. Il s'agit d'améliorer les règles qui s'appliquent aujourd'hui à l'industrie chimique. On doit évaluer 30 000 produits à travers les procédures REACH (c'est-à-dire savoir si ces produits chimiques sont toxiques



World chemicals sales in 2004 is estimated at € 1776 billion
 The EU accounts for 33% of the total

Sources: ACC & Cefic
 Definition: Rest of Europe* = Switzerland, Norway, and other Central & Eastern Europe (excluding the new EU 10 countries)
 Other** including Canada, Mexico, Africa & Oceania

Figure 6 Comparaison Europe/reste du Monde ACC & CEFIC Bruxelles

ou pas) sur une période de 11 ans. Le point important est le transfert de responsabilités des autorités de la Communauté et de celles des Etats Membres vers l'industrie pour tester et évaluer le risque des produits chimiques. De fait, le Laboratoire Central Européen ne peut prendre en charge les études de toxicologie pour l'ensemble des produits chimiques qui sont sur le marché. Les discussions sont après car, évidemment, les indus-

triels ont sauté au plafond en disant : « cela va nous coûter trop cher, on va se ruiner, on ne va plus être concurrentiels ». Mais ils ont fini par réaliser qu'ils avaient finalement intérêt à jouer ce jeu puisque, ce faisant, ils y gagnaient une sorte de légitimité vis-à-vis de l'opinion publique. Et c'est ce point qui l'a emporté finalement. Il l'a emporté d'autant plus que l'industrie chimique, depuis un moment, était intéressée par ce que l'on appelle

20
 |
 La
 chimie,
 image et
 vérité

le concept de « chimie verte », apparu aux Etats-Unis au début des années 90 du fait que, là aussi, il y a une législation importante contre la pollution. Cette chimie verte, c'est une question de procédés, en particulier pour traiter la question des déchets, la sécurité des produits, l'emploi de matériaux bruts renouvelables, l'utilisation efficace de l'énergie, l'utilisation de solvants moins polluants. C'est un point extrêmement important dans la mesure où l'industrie chimique utilise énormément de solvants, comme le benzène, qui peuvent être cancérigènes et extrêmement désagréables. Egalement, elle traite de la conception de produits chimiques biodégradables. Je dirai que la chimie verte est plutôt une manière de penser la pratique de la chimie, par exemple par l'utilisation de catalyseurs permettant d'opérer à plus basse température.

Il y a aussi une invention française qui s'appelle la « chimie douce » et qui s'inspire des processus biologiques pour élaborer des verres et des céramiques, dont je vous rappelle que ce sont généralement des produits de haute température. Notre collègue Jacques Livage s'est beaucoup distingué dans ce domaine. On étend au monde minéral les techniques de polymérisation utilisées pour la fabrication des matières plastiques. On peut faire des hybrides organo-minéraux ou biologiques minéraux ; c'est un domaine dans lequel la recherche se développe énormément en particulier pour faire ces micro-appareils de réaction dont je vous parlais tout à l'heure. Donc, il faut rechercher des

matériels renouvelables. La question des carburants issus du végétal est ancienne. Déjà, en 1980, le chimiste américain Melvin Calvin, Prix Nobel, avait proposé un certain nombre de plantes comme sources pour un carburant diesel maîtrisé, notamment des plantes tropicales comme les euphorbes. Il imaginait le désert de l'Arizona couvert de cultures d'euphorbes.

D'autre part, on avait découvert à ce moment-là dans la forêt brésilienne des arbres, on faisait un trou dedans et il en coulait un liquide que l'on mettait directement dans un moteur diesel ! Cela existe mais l'arbre est assez rare. Par contre, l'alcool de canne à sucre comme carburant s'est développé très tôt et on propose l'huile de colza en Europe. Mais on n'a pas encore planté d'euphorbes en grandes quantités aux marges du désert du Sahara ou du Nord-est du Brésil où la plante pousse d'une manière assez native. Il y a là des choses à faire.

SusChem est une plateforme européenne pour le développement durable en chimie. Elle est lancée par le CEFIC et EuropaBio, une association pour le développement de la bio-industrie. C'est donc assez récent. Il s'agit d'une perspective à long terme et dans celle du 7^{ème} Programme Cadre Européen.

Il faut donc développer l'industrie chimique européenne par une meilleure maîtrise des processus au niveau moléculaire dans les nanotechnologies et les biotechnologies et d'assurer à une industrie chimique res-

ponsable une réputation de sérieux et de fiabilité, ce qui est évidemment un objectif ambitieux puisque, généralement, l'industrie chimique n'a pas très bonne presse. Quand on fait des enquêtes de type « *Aimez-vous la chimie ? Détestez-vous la chimie ?* », il apparaît que les chimistes sont finalement assez sympathiques. Heureusement ! Mais les produits chimiques ont une image détestable ! Quelque part, il faut essayer de faire la distinction et rendre certains produits chimiques aimables. On voit beaucoup cela à la télévision d'ailleurs. La publicité essaie de rendre les détergents aimables, par exemple. Manque de chance, la Communauté Européenne vient de publier un rapport sur la nocivité des détergents !

Par exemple, Atochem a une usine en Normandie qui fabrique toujours des produits à base de Rilsan en utilisant de l'huile de ricin. Donc, il y a quand même quelques exemples de ressources renouvelables basées sur des végétaux.

Si on fait le bilan de tout ce que les hommes veulent faire dans le domaine du développement durable, on trouve de nombreux candidats pour beaucoup de procédés.

L'UBIQUITÉ DE LA CHIMIE ET DE SES USAGES

Trois programmes d'actions détaillés ont été présentés : matériaux et technologies, réactions et procédés et un agenda de recherche prévu pour la biotechnologie industrielle. On appelle cela « les biotechnologies blanches » : il s'agit d'utiliser les biotechnologies pour traiter ou produire des matériaux et des produits chimiques et de l'énergie par l'utilisation d'enzymes et de microorganismes pour fabriquer des produits dans des domaines comme la chimie, l'alimentation, le textile, le papier et l'énergie. Les matières premières brutes renouvelables peuvent conduire à des biocombustibles et des biopolymères. Il y a un exemple que l'industrie utilise depuis assez longtemps, c'est le Rilsan. Le Rilsan est un polymère qui vient de l'huile de ricin et dont les propriétés sont tout à fait remarquables. Il est toujours fabriqué.

Que conclure ? Les usages traditionnels historiques de la chimie, ceux qui concernent le corps, persisteront. On voit mal comment se passer de produits de beauté, de décorations, d'améliorations du cadre de vie, de confort, de remèdes, etc. Cela existe depuis la très haute antiquité, sinon depuis les hommes des cavernes. La chimie est aussi au cœur des technologies modernes, les prothèses dont je parlais tout à l'heure, les prolongements du corps. Elle ne peut en être dissociée. Pour la fabrication, des progrès sont possibles au niveau des déchets, des procédés et surtout des économies d'énergie. Les catalyseurs permettent de faire des tas de choses : ce sont des produits chimiques qui facilitent une réaction qui ne se fait pas spontanément pour des tas de raisons (vitesse de réaction, etc.). Le catalyseur va

permettre d'aboutir à quelque chose avec toute une série d'intermédiaires. Cela intéresse beaucoup beaucoup les chimistes et il y a énormément de recherche. Naturellement, la question de l'énergie est au cœur des usages des prothèses par la société. L'utilisation de l'automobile est un exemple typique qui utilise beaucoup d'énergie et de produits chimiques.

C'est l'énergie solaire qui est à la base de toutes les énergies utilisées sur la terre, actuelles ou fossiles. J'en profite pour rappeler qu'à la fin des années 50, l'équipe de Félix Trombe au CNRS (je le dis d'autant mieux qu'il était mon patron) avait décidé d'expérimenter toutes les techniques de récupération, peintures et plastiques, et économies d'énergie possibles à partir du rayonnement solaire pour l'habitat. Malheureusement, à cette époque, il faut bien dire que les économies d'énergies n'étaient pas du tout dans l'esprit du temps ! Donc, on ne comprenait pas la portée de ces découvertes au demeurant relativement simples. Ce n'était pas de la haute technologie mais c'était des techniques de peinture et des techniques de construction de murs. Je suis ravi que Félix Trombe ait finalement donné son nom à la langue américaine, puisque le dispositif qu'il recommandait pour la construction de murs récupérateurs d'énergie solaire s'appelle maintenant *trombe* (*prononcez trombi*) en américain. C'est un système de récupération statique d'énergie extrêmement simple qui permet de diminuer considérablement la facture de chauffage l'hiver. On utilise quel-

quefois le silicium pour produire une énergie photovoltaïque locale. Les panneaux de silicium sont coûteux, car ce métal est difficile à fabriquer, mais c'est pratiquement la seule technique utilisée en France pour récupérer l'énergie solaire, bien que certains efforts aient été faits : on trouve maintenant des chauffe-eau solaires construits selon les principes proposés par Trombe dans les années 1950 ...

La culture des plantes à pétrole est possible. Le problème est que dans les lieux où elle peut se faire, elle peut se pratiquer aux dépens de la culture vivrière. Les plantations de canne à sucre au Brésil ont réduit les plantations de haricots et ce n'est pas forcément une bonne chose pour la nourriture de la population. Evidemment, il y a la question sociale et celle-là est critique pour le sort du concept de développement durable. Pourquoi ? Parce que la demande sociale en machines qui apportent du plaisir (automobile, télévision) est difficile à contrôler ou à réduire, si bien qu'elle deviendra bientôt une aspiration légitime du Tiers Monde. C'est le cas de la Chine. Les Chinois ont bien sûr envie d'acheter des voitures ou d'avoir la télévision ou autre chose, mais le plaisir se heurte déjà aux contraintes légales : limites de vitesse, embouteillages, amendes, PV de toutes natures, santé publique, pollution, etc. Alors, comment contrôler les pulsions que l'accès à ces sources de plaisir propose ? C'est difficile à négocier socialement. On ne peut pas espérer trop de la répression, si je peux dire. Il y a peut-être

une route à pratiquer, celle de l'éducation à l'utilisation de l'énergie et des matériaux afin de montrer que, peut-être, on peut éco-

nomiser. On ne se séparera pas de la voiture mais on peut limiter son usage, l'utiliser au bon moment, dans de bonnes conditions.

Paul CARO

*Directeur de recherches honoraire au CNRS,
Membre correspondant de l'Académie
des Sciences, Membre de l'Académie des
Technologies*

24

La
chimie,
image et
vérité

