

## LA CHIMIE, LA PLANÈTE... ET NOUS

Pour être tout à fait honnête, la chimie n'était pas ma discipline favorite lorsque j'étais étudiant.

Si la biologie et les biotechnologies me passionnaient et m'ouvraient des perspectives infinies, les cours de chimie ne me faisaient pas particulièrement rêver... Aussi puis-je comprendre sans difficulté que la chimie soit rébarbative pour beaucoup de gens.

Il a fallu que je commence mes travaux de thèse pour me rendre compte que toute la chimie que j'avais étudiée, qu'elle soit organique ou minérale, était en fait une sorte de solfège qui m'ouvrait l'accès à un concerto universel et sans limite, celui des molécules et de la matière...

Comme pour beaucoup d'étudiants, c'est donc lors de sa mise en œuvre pratique que j'ai découvert que la chimie est au cœur de toutes choses, au cœur de notre vie...

Car la chimie et sa composante biologique, la biochimie, qui permet de comprendre et d'agir sur le fonctionnement

de notre organisme ainsi que ceux de la faune et de la flore qui nous entourent (n'oublions pas que nous sommes nous-mêmes formés par des milliards de molécules chimiques), participent à la majeure partie de nos activités humaines.

Eh oui, de nos savonnettes au carburant de nos voitures, de nos traitements médicamenteux aux barquettes des plats tout préparés... cette chimie est présente dans tous les espaces de notre vie. En cela, elle occupe une place particulière au sein des sociétés humaines.

Son omniprésence dans notre vie quotidienne se traduit par une prééminence économique, sociétale et environnementale. Car passer de la chimie à l'industrie chimique se fait naturellement depuis des centaines d'années.

## **La chimie industrielle dans le monde...**

Nous allons le voir, l'impact économique de la chimie est majeur, que cela soit en termes d'emplois générés ou bien en termes de chiffre d'affaires réalisé. Cette industrie est constituée de groupes de grandes tailles possédant des filiales industrielles souvent localisées au plus près des consommateurs dans le monde. Aussi, en faisant la somme de toutes les unités industrielles exploitées actuellement pour satisfaire durablement la demande mondiale dans les secteurs de l'alimentaire, de la santé et des biens de consommation, il apparaît une production de masse incontournable.

Environ 85 % des 85 000 principaux produits chimiques commerciaux sont produits à partir de 20 produits chimiques simples, appelés produits chimiques de base, eux-mêmes produits à partir de 10 matières premières, majoritairement fossiles, comme le pétrole. L'industrie chimique recouvre l'ensemble des activités industrielles permettant de produire ces produits chimiques commerciaux.

Dans son rapport intitulé «La chimie en France, en bref, édition 2009», l'Union des industries chimiques (UIC) livre des statistiques obtenues via ses adhérents et des données accessibles en Europe.

Hors le domaine de la pharmacie, la chimie employait en France, en 2008 et en 2009, environ 180 000 à 200 000 personnes, dont 12 000 dans le domaine de la recherche et du développement. Ces emplois sont répartis dans 900 entreprises de plus de 20 salariés.

Ces emplois ont généré un chiffre d'affaires de 85,8 milliards d'euros en 2008 et de 67 milliards en 2009.

La chimie industrielle présentait en 2009 un solde positif en termes de commerce extérieur de l'ordre de 5 milliards d'euros. Les chiffres 2008 et 2009 montrent une décroissance amorcée depuis plusieurs années, mais malgré la crise économique, l'industrie chimique française résiste plutôt bien en termes économiques.

De par sa position en amont de nombreux secteurs industriels, l'industrie chimique en France est prédominante, c'est le second secteur industriel après celui de l'automobile. Au niveau mondial, La France est positionnée au cinquième

rang, derrière les États-Unis, la Chine, le Japon et l'Allemagne, ce qui nous place donc au second rang européen.

Au niveau mondial, l'industrie chimique a, en 2009, généré environ 2000 milliards d'euros de chiffre d'affaires et plusieurs millions d'emplois associés. Cette industrie est constituée par une soixantaine de groupes industriels de taille significative, répartis de manière homogène dans trois zones : Asie (30 %), Europe (35 %) et Amérique du Nord (25 %). Avec la Chine, le Japon et bientôt l'Inde, le continent asiatique est celui qui présente la plus forte progression industrielle dans ce domaine.

Pour 2009, le classement du magazine américain *Fortune* donne les 10 premières sociétés chimiques dans le monde, leur rang parmi les 500 plus grandes entreprises mondiales et leurs chiffres d'affaires :

<b>Industries chimiques : les 10 premières compagnies dans le monde en 2009</b> (source : magazine <i>Fortune</i> , juillet 2009)			
<b>Rang</b>	<b>Compagnies</b>	<b>Rang parmi les 500 plus grandes sociétés</b>	<b>Revenus en millions de dollars US</b>
1	BASF (Allemagne)	59	91 193
2	Dow Chemical (USA)	127	57 514
3	Lyondell Basell Industries (Pays-Bas)	147	50 996
4	Bayer (Allemagne)	154	48 182
5	SABIC (Arabie Saoudite)	186	40 203
6	DuPont (USA)	262	31 836

7	Mitsubishi Chemical Holdings (Japon)	302	28.957
8	Evonik Industries (Allemagne)	383	23.718
9	Akzo Nobel (Pays-Bas)	406	22.563
10	Air liquide (France)	484	19.179

Le même type de classement pour les industries pharmaceutiques montre une présence américaine forte et un positionnement de l'Europe via de grands groupes industriels, inamovibles depuis plusieurs décennies :

<b>Industries pharmaceutiques : les 12 premières compagnies dans le monde en 2009</b> (source : magazine <i>Fortune</i> , juillet 2009)			
<b>Rang</b>	<b>Compagnies</b>	<b>Rang parmi les 500 plus grandes sociétés</b>	<b>Revenus en millions de dollars US</b>
1	Johnson & Johnson (USA)	103	63747
2	Pfizer (USA)	152	48296
3	GlaxoSmithKline (Angleterre)	168	44654
4	Roche Group (Suisse)	171	44268
5	Sanofi-Aventis (France)	181	42179
6	Novartis (Suisse)	183	41459
7	AstraZeneca (Angleterre)	268	31601
8	Abbott Laboratories (USA)	294	29528
9	Merck (USA)	378	23850

10	Wyeth (USA)	401	22834
11	Bristol-Myers Squibb (USA)	435	21366
12	Eli Lilly (USA)	455	20378

Ces sociétés emploient chacune entre 10 000 et 100 000 personnes dans le monde. Si nous passons au monde de l'agroalimentaire, les groupes en question peuvent employer plusieurs centaines de milliers de personnes :

<b>Industries agro-alimentaires : les 5 premières compagnies dans le monde en 2009</b> (source : magazine <i>Fortune</i> , juillet 2009)			
Rang	Compagnies	Rang parmi les 500 plus grandes sociétés	Revenus en millions de US dollars
1	Nestlé (Suisse)	48	101 565
2	Unilever (Angleterre)	121	59 313
3	PepsiCo (USA)	175	43 251
4	Kraft Foods (USA)	177	42 867
5	Groupe Danone (France)	413	22 277

En plus de la chimie, de la pharmacie et de l'agroalimentaire, il est possible de rajouter au niveau européen les groupes pétroliers BP, Shell et Total dans le domaine du raffinage, et Suez et Areva dans celui de l'énergie.

## **La chimie industrielle: un paradoxe sociétal**

Bien qu'omniprésente, la chimie moderne est assise sur un paradoxe: nos sociétés demandent de produire massivement toujours plus de produits chimiques, soit pour notre subsistance, soit pour notre confort, tout en limitant durablement les impacts potentiels de la chimie. Car la chimie n'est pas sans effets sur l'être humain et son environnement, et ces effets ne sont, hélas, pas toujours positifs.

85 000 substances chimiques sont commercialisées dans le monde et 7 000 sont produites de manière massive. Dans son documentaire télévisé *La Grande Invasion* (2011), la réalisatrice Stéphane Horel a montré que, depuis les années 1950, nous sommes entourés par les produits chimiques. Au début, ces produits étaient perçus comme une source de progrès, puis comme un mal nécessaire à la société moderne, un tribut à payer pour justifier notre mode de vie, avec toujours plus de produits nouveaux, d'emballages de protection... ils sont maintenant rejetés en masse.

En effet, si nous consommons volontairement des produits chimiques, dans notre nourriture, pour survivre, croître, nous soigner et perpétuer notre espèce, nous en consommons aussi de manière involontaire car les produits chimiques commerciaux peuvent contenir des traces résiduelles de molécules parasites: pesticides, engrais. Découvrir des résidus de phtalates ou de bisphénol A dans les matières plastiques qui nous entourent et dans le biberon des bébés, des pesticides dans nos assiettes comme dans

l'eau de nos rivières, ou la toxicité de certains médicaments inquiète à juste titre (voire angoisse) les consommateurs et écocitoyens que nous sommes. La chimie donne l'image d'une industrie lucrative et rentable, qui s'enrichit au détriment de notre santé et de notre écosystème planétaire...

Pourtant, dès le début du XXI<sup>e</sup> siècle, nous avons vu se mettre en place un enseignement scientifique et technique, ainsi qu'une recherche appliquée clairement orientés vers le développement durable. Cela porte sur le développement de procédés industriels techniquement et économiquement faisables basés sur l'utilisation de matières premières renouvelables produites à partir de molécules végétales se substituant aux produits d'origine pétrolière (car il faut limiter le prélèvement des matières premières dans l'environnement, la plupart d'entre elles sont fossiles et leur prélèvement massif conduit à un épuisement des ressources mais aussi à des déséquilibres, perturbateurs de la biodiversité) et d'énergies renouvelables et/ou non émettrices de gaz à effet de serre (l'industrie chimique française a ainsi réalisé une diminution de 45 % des émissions de gaz à effet de serre depuis 1990).

De plus, le développement de ces procédés innovants doit augmenter drastiquement l'efficacité et le rendement de fabrication des produits chimiques, c'est ce que nous appelons l'intensification des procédés, avec une utilisation totale de la matière première. Enfin, ces procédés doivent favoriser l'utilisation de réactifs et solvants non toxiques et privilégier des voies de synthèse ne conduisant pas à



des intermédiaires réactionnels ou des déchets chimiques particulièrement toxiques (ces déchets pouvant conduire à des déséquilibres majeurs et à des impacts néfastes sur la faune, la flore et nous-mêmes, puisque nous sommes au sommet de la chaîne alimentaire).

La chimie industrielle, avec ses bienfaits et ses dangers, réels ou fantasmés, est donc entrée dans une ère nouvelle, celle de la prise de conscience de son impact sur notre quotidien. Cette prise de conscience, d'abord par le protocole européen Reach, puis au niveau national dans le cadre du Grenelle de l'environnement, conduit irrémédiablement la chimie à se positionner dans une perspective durable, d'un point de vue technique, économique ou bien sociétal.

## **Une révolution et cinq grands enjeux**

Une révolution est donc à mener, et elle a pour nom « chimie verte ».

Jean-Claude Charpentier, un des pères du Génie des procédés français, me donna un jour la définition pratique de la chimie verte : « Dès maintenant, il faut produire beaucoup plus tout en consommant beaucoup moins. » C'est d'une simplicité redoutable.

Pourquoi faut-il produire beaucoup plus ?

Parce que, globalement, la population de la planète est en constante augmentation. Un peu plus de 6 milliards actuellement, nous devrions atteindre les 9 milliards d'habitants d'ici 2030 à 2050. Cette augmentation n'est

pas homogène au niveau de la planète. Le Brésil, la Russie, l'Inde et la Chine (qui forment le BRIC) vont, à eux quatre, représenter rapidement la moitié de la population mondiale, et les outils de production à développer le seront principalement dans ces quatre territoires, ce qui va compliquer les choses.

Pourquoi faut-il consommer beaucoup moins ?

Parce que, actuellement, seuls 25 % en masse de ce qui est prélevé dans la nature en termes de matière première se retrouvent dans des produits finis. Cela implique que 75 % sont rejetés dans la nature. C'est *a minima* un gaspillage énorme, mais aussi un risque important de déstabilisation de l'écosystème global. Dès 2005, une étude du World Resource Institute indiquait que nous devions faire progresser l'efficacité de nos procédés industriels d'un facteur 20, c'est-à-dire consommer 20 fois moins de matières premières et cela en intensifiant nos procédés industriels.

Nous vivons certes au présent, mais il devient de plus en plus urgent de nous projeter vers un futur à court et moyen terme. Un futur dans lequel la chimie doit continuer à nous accompagner en nous apportant – et ce dès maintenant – des solutions concrètes à cinq enjeux stratégiques auxquels l'humanité doit et devra faire face, pour sa survie et celle de la planète qui l'héberge :

### ***Produire de la nourriture***

La production de nourriture, c'est-à-dire l'agriculture, l'élevage et la transformation via les industries agro-

alimentaires, est, depuis la fin du xx<sup>e</sup> siècle, un problème patent. Depuis les famines en Afrique jusqu'à celles en Asie se pose la question de faire pousser des plantes en quantité significative et cela à partir de sols pas toujours fertiles. L'idée même des plantes OGM (Organismes génétiquement modifiés) est née à cette période avec l'idée de chercheurs imaginant faire pousser des plantes au Sahara pour nourrir les populations affamées. Quarante ans plus tard, cette idée, reprise au profit d'un monopole industriel, a été largement dévoyée...

Aujourd'hui, les engrais et les pesticides restent au cœur des débats sur la production de nourriture. Ils sont incontournables si nous envisageons de nourrir 9 milliards d'habitants en 2050, même si, localement, les cultures bio auront toute leur place. Nourrir la planète ne pourra se faire sans chimie, que cela soit pour l'alimentation animale ou pour l'alimentation humaine...

### ***Produire des médicaments***

L'évolution démographique importante à laquelle nous faisons face, associée à une augmentation continue de la durée de vie dans les pays industrialisés, nous amène à repenser complètement la production de principes actifs pour la santé humaine.

Les maladies les plus dévastatrices à l'heure actuelle sont le sida, la malaria, la tuberculose, le choléra. Or, il est incroyable de noter que des médicaments efficaces existent pour traiter ces affections, mais que les populations exposées

sont souvent peu solvables. C'est en particulier le cas du sida qui continue de dévaster le continent africain alors que des traitements de trithérapie sont disponibles en Europe et aux États-Unis. L'augmentation de l'espérance de vie de la population conduit aussi à voir augmenter le nombre de maladies dégénératives (maladie de Parkinson, d'Alzheimer...) ou liées à des cancers. L'enjeu pour la chimie va donc être de développer des molécules génériques efficaces et transposables en production sur des quantités importantes. Et cela devra dorénavant se faire à partir de matières premières renouvelables (végétales, biotechnologie...) ou facilement accessibles par des voies de synthèse chimique. Tout cela dans un contexte global de rentabilité et de sécurité sanitaire afin de ne pas mettre sur le marché des molécules ou des médicaments potentiellement toxiques.

### *Produire de l'eau potable*

A l'heure actuelle, environ deux millions de personnes meurent dans le monde chaque année du fait d'un accès limité ou insuffisant à de l'eau potable. Certaines zones du monde, comme le pourtour méditerranéen, le Moyen-Orient et certaines zones d'Asie, sont en situation de stress hydrique et payent ainsi un lourd tribut en mortalité infantile.

Le problème majeur est que les réserves en eau potable sont inégalement réparties à la surface de la planète, et là aussi l'évolution démographique peut aggraver localement des situations déjà précaires. De plus, à cette urbanisation

galopante se couple aussi souvent le manque de traitement et de recyclage des eaux usées. Cela conduit à augmenter la raréfaction en eau potable et aussi à propager des pathologies sévères, comme le typhus, chez les jeunes enfants ou les personnes âgées.

Notre planète est recouverte aux trois-quarts par les océans, aussi est-il tentant d'imaginer récupérer cette eau salée pour produire de l'eau potable en quantité suffisante pour tous. C'est à ce niveau que la chimie est attendue pour développer des procédés de filtration performants et peu coûteux en termes d'énergie. Ces mêmes procédés devront aisément être mis en œuvre pour le recyclage des eaux usées. Et pour permettre la distribution d'eau potable dans des conditions sanitaires suffisantes, la chimie du chlore est attendue en tout point de la planète.

### *Produire de l'énergie*

La production d'énergie est capitale dans notre quotidien puisqu'elle concerne notre habitat, nos transports mais aussi notre industrie. Le niveau d'accès d'une population à l'énergie conditionne l'espérance de vie de cette population. Avoir un accès suffisant à l'énergie permet de pouvoir se chauffer en hiver. Cela permet aussi de garantir une chaîne du froid pour conserver nos aliments et nos médicaments. Enfin cela permet de faire fonctionner des hôpitaux (et des ambulances), des écoles (et des transports scolaires) ainsi que des usines d'engrais, de potabilisation d'eau, de production de médicaments... L'énergie est donc indispensable pour

répondre aux trois précédentes questions tout en nous permettant de nous déplacer et d'avoir accès à l'éducation et à la culture.

Sur la question de l'énergie, le XIX<sup>e</sup> siècle fut le siècle du charbon et le XX<sup>e</sup> celui du pétrole. Qu'en sera-t-il pour le XXI<sup>e</sup> siècle ? Certains se hasardent à baptiser notre siècle naissant comme le siècle de l'hydrogène ou celui de l'électricité (qui n'est d'ailleurs pas une matière première). Il pourrait tout aussi bien être celui de la fusion nucléaire ou celui de la gazéification de la biomasse... Vous l'avez compris, l'énergie qui fera avancer notre siècle prendra toutes les formes imaginables et devra, si possible, être renouvelable et non émettrice de gaz à effet de serre. Alimenter une industrie lourde ou bien un village reculé ne nécessitera sûrement pas le même type d'énergie. Aussi toutes les formes de production doivent-elles être envisagées pour disposer d'un mix énergétique disponible partout et au moment où nous en avons besoin. Nos véhicules personnels commencent déjà à avoir le choix entre l'électricité et le pétrole...

La chimie tient déjà une place majeure dans tous les procédés de production et de stockage d'énergie. Augmenter l'offre de production d'énergie, c'est lui demander encore plus.

### *Protéger l'environnement*

Ce dernier domaine – totalement transversal aux quatre précédents enjeux – semble récent. En réalité, il ne l'est pas.

C'est sa prise en compte qui est récente: elle date du siècle précédent, lorsque Paul Valéry a poétiquement déclaré que « nous rentrons dans un monde fini ». Notre planète possède des ressources finies en eau, en énergie fossile, en matières premières de toutes sortes. Cette constatation, pourtant évidente, nous a amenés à réfléchir à l'impact des activités humaines sur la préservation de notre environnement, en termes d'épuisement des ressources fossiles et de production de rejets urbains et industriels, mais aussi sur le changement climatique. La planète et l'humanité ne seront durables que si nous sommes capables de produire toujours plus en protégeant notre environnement. Là aussi, la chimie aura un rôle déterminant à jouer...

Voilà donc quatre grands enjeux (ou domaines), plus un cinquième transversal et incontournable, qui constituent un véritable casse-tête géopolitique. À cette équation déjà compliquée, il faut ajouter la perspective démographique d'une population terrestre qui devrait passer de 6 milliards à 9 milliards d'habitants en 2050.

Pour envisager un futur durable, la chimie sera présente à tous les niveaux de l'activité humaine. Cela ne sera sûrement pas la chimie industrielle que nous avons connue au siècle précédent, mais plutôt une chimie capable de vivre un paradoxe. Celui de la chimie verte qui, au service des quatre grands enjeux de notre société humaine et au service de l'environnement, n'a pas d'autres perspectives que de devenir irrémédiablement durable.