

Conférence publique du 9 mai 2011.

Montpellier, salle Rabelais.

Année internationale de la chimie.

**LA CHIMIE DANS L'AVENTURE HUMAINE :
DES LIENS IMMÉMORIAUX ET DURABLES.**

J'espère que vous n'avez pas abandonné le confort de vos domiciles pour écouter ce soir un dithyrambe sur la chimie ? Vous seriez déçus. J'espère que vous ne l'avez pas fait non plus pour vous sentir confortés dans les critiques systématiques ou même le rejet de la chimie que, plus que d'autres, notre pays affectionne ? Dans ce cas encore, vous seriez déçus.

Car il ne s'agit ce soir ni de dithyrambe ni de rejet systématique. Il s'agit d'apprécier la place qu'a tenue, que tient et tiendra la chimie dans l'aventure humaine. Il s'agit de montrer que la chimie est une composante essentielle de l'histoire des hommes.

Pourquoi ? Parce qu'elle est le langage de la nature, de la matière comme de la vie. Par ce que l'histoire des hommes consiste avant tout en un dialogue avec la nature.

Dialogue instauré depuis la nuit des temps alors que l'homme observait avec une attention extrême le livre de la nature qu'il ne savait pas lire. Cette nature merveilleuse et redoutable qui le dominait. Cette nature sacralisée qui abritait ses dieux. Dialogue soudain enrichi, il y a un peu plus de

deux siècles, lorsque l'homme découvre que la chimie est le langage de la matière. Lorsque par la maîtrise de ce langage, par la synthèse chimique, l'homme devient compositeur de matières similaires à celles que produit la nature ou même de matières ignorées de celle-ci. Alors il se prend à rêver du renversement d'une situation multimillénaire : de dominé, il devient dominateur. De sacrée, la nature devient objet, dont il prélève les richesses à pleines mains. Et lorsque plus tard dans les années 1970, il découvre que le langage de la vie est entièrement chimique, lorsqu'il devient par le génie génétique compositeur de vie, il se voit comme l'égal des dieux.

L'espèce humaine avec près de sept et bientôt 9 milliards d'êtres humains est devenue une espèce hyper dominante. Elle impose à la nature ses prédatons et le rythme de son évolution culturelle, au risque de heurter les équilibres naturels. Or ce rythme en perpétuelle accélération est déconnecté du rythme darwinien de l'évolution des autres espèces. Si longtemps dominée, elle prend aujourd'hui conscience des risques que lui font courir les excès de sa propre puissance. L'homme se sentait l'égal des dieux. Il s'enorgueillissait d'être l'égal du créateur. Il découvre qu'il demeure une créature, unie à la nature par de multiples liens. Il redécouvre ce qu'il avait oublié de Descartes : l'homme a vocation à se comporter comme « *maître et possesseur de la nature* » certes, mais à une condition. Celle d'en respecter les lois.

Existe-t-il entre la chimie et l'aventure humaine des liens immémoriaux et durables ? Je tenterai de répondre à cette question en abordant successivement trois points :

- des liens immémoriaux
- la maîtrise du langage de la nature : bienfaits et méfaits
- des liens renouvelés et durables.

1- Des liens immémoriaux.

Je vous invite en Ariège il y a 12 000 ans. Dans le salon noir de la grotte sanctuaire de Niaux, un homme s'apprête à peindre un bison frappé de deux flèches. Il en a déjà tracé le dessin avec le charbon de bois d'un fusain. Dans la grotte voisine, son habitat, il vient de préparer la peinture qu'il s'apprête à utiliser. Le récipient est encore là dans lequel il a broyé et finement mélangé des pigments minéraux, rouge brun de l'hématite, noir de l'oxyde de manganèse, avec une charge de feldspath et de biotite ; tous produits chimiques naturels trouvés dans les environs. Il a lié le tout avec une matière organique grasse, animale ou végétale. Devant son esquisse au fusain, le pinceau à la main, il est prêt.

Nous revivons cette scène avec précision grâce aux techniques analytiques de pointe du laboratoire de recherche des musées de France. La macrophotographie montre des traces parallèles de couleur, caractéristiques de l'utilisation d'un pinceau. Contrairement à ce que l'on pensait récemment encore, ce magdalénien ne s'est pas contenté de colorants naturels et bruts. Il a mis au point la recette d'une véritable peinture à l'huile. 120 siècles plus tard son œuvre nous émeut. Il lui donnait un sens qui nous échappe. Le bison fléché fixe dans la paroi de Niaux un moment de l'histoire de l'humanité. Et c'est sur un acte chimique que s'appuie le dialogue mystérieux qu'il exprime entre la nature et l'homme.

Comment n'être pas impressionné par ce que Claude Lévi-Strauss appelle les « *savoirs sauvages* », qui remontent à la nuit des temps et fleurissent durant les millénaires du néolithique. Les « *savoirs chimiques sauvages* » sont innombrables. La culture de plantes tinctoriales, médicinales, d'arbres pour la préparation de résines, de colles, ... prouve l'existence d'une chimie empirique

sophistiquée. Lévi-Strauss nous dit : « *il a fallu, n'en doutons pas, une attitude d'esprit véritablement scientifique, une curiosité assidue toujours en éveil pour faire* » par exemple « *d'une argile instable, prompte à s'effriter, une poterie solide et étanche mais seulement à la condition d'avoir déterminé entre une multitude de matières organiques et inorganiques, la plus propre à servir de dégraissant, ainsi que le combustible convenable, la température et le temps de cuisson, le degré d'oxydation efficace ...* ».

Dans le département français de la Guyane, j'ai rencontré un merveilleux exemple de ces savoirs sauvages. Les Indiens Wayampi de la forêt amazonienne pratiquent la pêche à la « nivrée ». Cette pêche au poison utilise une grosse liane répartie en petits peuplements qu'il faut savoir repérer dans l'exubérance de la forêt. Battue sur la roche pour en dilacérer les tronçons en fins filaments odoriférants, elle est mise en fagot et jetée dans un endroit calme de la rivière. Le suc qui s'en échappe affaiblit très vite les poissons qui deviennent des proies faciles. Les Indiens opèrent la sélection qu'ils souhaitent par l'arc ou le harpon. Peu après le prélèvement, tout revient à l'état antérieur. La liane a libéré un alcaloïde, la ruténone. Celle-ci a pour effet, en abaissant brutalement pour quelques instants la teneur en oxygène de l'eau, d'affaiblir provisoirement les poissons. La science moderne explique ce savoir sauvage. Mais les Amérindiens ne l'ont pas attendue. L'aurait-elle découverte ? Pas sûr ! La science moderne épèle et articule le langage de la nature. Avec leurs savoirs sauvages, les Amérindiens parlent avec elle un langage des signes, dont on constate l'efficacité dans la relation qu'ils entretiennent avec elle.

L'obtention de métaux à partir de minerais, leur purification exigent des techniques qui ont demandé beaucoup d'observations, d'expériences, d'intelligence. 4000 ans avant J.C, des ors mésopotamiens titrent plus de 91 % de pureté et 2000 ans avant J.C., sont réalisés volontairement dans ces contrées des alliages d'or et de cuivre. Car on avait observé que ce type d'alliages avait une dureté supérieure à celle de l'or seul.

Dans la Bible, le prophète Jérémie, désespéré de voir les méchants résister à toute purification, emploie une métaphore : « *tous ils sont rebelles, tous ils sont corrompus. Le soufflet est haletant pour que le plomb soit dévoré par le feu. Vainement le fondeur s'emploie à fondre. Les scories ne se détachent point. Argent de rebut, voilà comment on les nomme* ». Par ces mots, il se réfère très précisément à la technique de coupellation pour la purification de l'argent, déjà bien établie à son époque !

Les temps antiques sont riches en utilisation de produits chimiques. La chimie protège le fer de l'oxydation par un mélange de plâtre, de céruse et de poix liquide. La céruse, carbonate de plomb, sera utilisée en France comme peinture sous le nom de blanc de plomb, jusqu'à son interdiction en 1914 en raison de sa toxicité. Les romaines, néanmoins, en avaient fait leur fard préféré, alors que les élégantes athéniennes ne se seraient pas montrées sur l'Acropole sans des lèvres délicatement rougies au cinabre, oxysulfure d'antimoine qui colorait naguère en vermillon la cire à cacheter de nos grands-pères. Ces dames s'épilaient efficacement avec des pommades de sandaraque, un extrait du thuya qui contient un sulfure d'arsenic. Les égyptiennes soulignaient l'éclat et la langueur de leur regard en se maquillant les yeux avec de la stibine, un sulfure d'antimoine. Les formulations de poudres pour se faire les cils étaient multiples : des mélanges de noir animal, d'oxyde de cuivre, d'oxyde de fer, de malachite ou d'autres plus populaires, mélanges de suie et d'argiles colorées.

Les Égyptiens savaient purifier le natron, un mélange de carbonate et de bicarbonate de sodium, qu'ils utilisaient pour le dessèchement des chairs dans le rite de la momification. Ils connaissaient la technique de mordantage des tissus qui consiste à les imprégner d'un produit chimique, alun, alumine, oxyde ferrique, qui fixe la couleur au sein de la fibre. Ils savaient blanchir les fibres naturelles puis les teindre par l'indigo, extrait d'une plante, le pourpre,

extrait d'un coquillage, la garance extrait d'une racine. (Rappelons-nous que, cinq mille ans plus tard, les fantassins français de 1914 porteront encore des pantalons rouges teints à la garance cultivée en Provence). Ils savaient aussi parfaitement imiter des pierres précieuses comme le rubis, le saphir ou l'émeraude. Les Phéniciens broyaient des cochenilles femelles récoltées sur les chênes kermès pour teinter en rouge leurs étoffes. Ils étaient maîtres dans l'art de la tannerie : l'écorce de chêne, entre autres, apporte l'acide tannique nécessaire.

Les formules de parfums et de poisons existent partout dans l'Antiquité. La biochimie n'est pas absente. Le vin, la bière, le vinaigre, sont produits 3000 ans avant J.C. Les gaulois sont des brasseurs de talent et fabriquent des savons à partir de cendres de bois, riches en phosphates. Les émaux ou les céramiques, les ciments, les mortiers ..., toutes ces techniques et bien d'autres encore poussées parfois à un haut degré de perfection témoignent de la capacité des anciens à utiliser la chimie de la nature.

Je ne peux clore cette première partie sans une allusion aux alchimistes. Pendant plus de vingt siècles, l'alchimie a attiré une multitude d'hommes dont certains comptaient parmi les plus brillants de leur temps. À l'opposé de la philosophie dominante d'Aristote qui fractionnait le monde en deux parties distinctes supra et sublunaires, les alchimistes croyaient, et ils avaient raison contre la philosophie dominante, en l'unité de l'univers. À l'opposé des comportements imposés par cette philosophie, ils pratiquaient l'expérimentation en cherchant à reproduire dans le microcosme du laboratoire, dont ils auraient inventé le concept, les phénomènes du macrocosme. Ils prétendaient maîtriser le temps et réaliser au laboratoire ce qui aurait demandé à la nature des durées considérables.

L'histoire récente corrige la caricature dans laquelle ils ont été trop souvent enfermés. Newton, « *le père de la science moderne* », a poursuivi pendant des décennies des travaux alchimiques. Cet aspect de son œuvre avait été bien caché, tant elle heurtait un certain rationalisme étroit. Lorsqu'en 1936, ses carnets alchimiques, largement ignorés depuis sa mort deux siècles auparavant, ressortent dans une vente aux enchères chez Sotheby, l'économiste Keynes tente de les acquérir pour le compte du King's College de Cambridge. Il est atterré et déclare : « *Newton n'a pas inauguré l'ère de la raison, il est plutôt le dernier des magiciens* ». Bien mauvaise analyse ! Newton s'oppose à Descartes et Boyle. Ceux-ci prônent une chimie mécaniste dont les réactions se réduisent à des contacts mécaniques entre les corps, auxquels ils refusent de conférer quelque propriété intrinsèque que ce soit, autre que leur forme. Newton, au contraire, pense que la science mécanique, dont il est le véritable fondateur, ne peut à elle seule rendre compte des phénomènes observés. Sa notion de force devait beaucoup aux conceptions alchimiques de l'attraction. Pour lui, la capacité des éléments à s'unir tenait pour une grande part à leurs propriétés intrinsèques.

Grâce à lui, la chimie ne s'enfermera pas dans une conception étroitement mécaniste. La voie restera ouverte à la future théorie atomique. Pour lui, d'une manière plus générale, la nature ne saurait être réduite à une mécanique, à un objet. Elle est à la fois mouvement et vie. Pour l'avoir perçu à contre-courant de la pensée dominante de son temps, le « *dernier des magiciens* » était aussi le premier des visionnaires.

2- La maîtrise du langage de la nature : bienfaits et méfaits.

Pendant plus de 20 siècles, l'Occident avait vécu sur l'idée de Platon et d'Aristote selon laquelle quatre éléments fondamentaux, le feu, la terre, l'air et

l'eau existaient toujours en mélange dans tous les corps, et leur communiquaient des propriétés spécifiques : chaud, froid, sec, humide.

Et voilà que la révolution chimique va faire exploser cette conception bimillénaire ! On démontre que l'air est composé de deux éléments, azote et oxygène. On démontre que l'eau, le liquide de la vie, est composé de deux gaz, l'hydrogène et oxygène. C'est une révolution telle que l'expérience de la décomposition et de la recombinaison de l'eau sera conduite par Lavoisier devant le roi lui-même. C'est le moment où les chimistes vont montrer que le langage de la matière est chimique.

Nous savons tous aujourd'hui que l'ensemble de la matière est composé des 92 atomes qui s'ordonnent dans la table de Mendéléiev en un véritable alphabet de l'Univers. Nous savons qu'ils sont le résultat de réactions nucléaires dans les étoiles.

D'où viennent le fer contenu dans l'hémoglobine de notre sang, l'iode de notre thyroïde, l'oxygène et d'hydrogène qui forment l'eau dont chacun de nous est constitué à plus de 60 % ... Leur histoire est écrite dans les étoiles. Nous sommes poussières d'étoiles, enfants d'une énergie nucléaire céleste débridée, usagers d'atomes dont l'histoire relève des temps cosmiques. Usagers seulement. Nous chimistes, qui composons de nouveaux matériaux, de nouveaux médicaments, nous jouons, sans y penser vraiment, avec un jeu de construction dont chaque pièce est vieille de milliards d'années, et provient de l'immensité de l'univers. A l'époque de Lavoisier, seuls 26 de ces 92 atomes sont connus, à partir desquels les premières lois de la chimie fixeront la grammaire et la syntaxe. Dans les décennies qui suivent, cet alphabet atomique s'enrichira. Mais déjà, notamment avec les travaux de Lavoisier qui montrent que la respiration est une oxydation, on découvre les liens entre la chimie et les mécanismes de la vie. L'homme fait de la chimie

comme il respire ! 150 ans plus tard, on comprendra que le langage de la vie est entièrement chimique et que son alphabet moléculaire se réduit à quatre lettres : A, T, G, C (Adénine, Thymine, Guanine, Cytosine).

L'homme sait enfin épeler des mots, comprendre des bribes de phrases du langage de la nature. Il sait dégrader les produits naturels pour en identifier les constituants, par la chimie analytique. Mais il croit qu'une « *force vitale* » existe dans les corps organiques, et que, faute de pouvoir conférer cette force aux constituants qu'ils maîtrisent, il est incapable d'en réaliser la synthèse. Il ne peut ni copier la nature, ni a fortiori composer des produits nouveaux. Cependant, dès le milieu du XIXe siècle, cette difficulté sera surmontée, et après la synthèse de l'urée par Woehler, et les travaux de Marcellin Berthelot, l'homme deviendra compositeur de matière. D'une certaine façon, le vieux rêve des alchimistes est accompli : l'homme sait faire aussi bien que la nature et plus vite qu'elle. Mieux encore l'homme va composer des produits que la nature n'avait pas inventés ou retenus dans ses phylogénèses.

L'histoire des hommes va s'en trouver bouleversée. Leur vie quotidienne intégrera de plus en plus les produits de leur inventivité chimique. La synthèse industrielle de l'alizarine va peu à peu remplacer la culture de la garance ! Colorants artificiels, textiles artificiels puis synthétiques, engrais, matières plastiques, peintures, adhésifs, médicaments de pharmacie humaine ou vétérinaire, matériaux nouveaux, etc., la chimie sera l'industrie « *industrialisante* » par excellence par les évolutions qu'elle imprimera à tous les autres secteurs industriels. Nous avons quelques difficultés aujourd'hui à imaginer combien la chimie était à cette époque reconnue par tous comme un facteur majeur du progrès.

Elle apportait enfin à l'humanité les moyens de surmonter les fléaux qui la frappait depuis toujours.

Ainsi à la fin du XIX^e siècle, et c'est une situation que nous retrouvons dans notre actualité, tous les spécialistes s'accordent pour annoncer l'épuisement prochain d'une ressource naturelle essentielle. Il s'agit du guano du Chili. Ces immenses falaises de la côte pacifique, faites de déjections et cadavres d'oiseaux marins accumulés au cours des âges constituaient alors la source principale d'engrais azotés pour l'Europe. Les spécialistes précisait qu'une grande famine résulterait de leur épuisement. La date de cette calamité était annoncée. Ce serait en 1940 ! La hantise du fléau millénaire ressurgissait.

C'est alors que Fritz Haber découvre la synthèse directe de l'ammoniac et l'industrialise avec l'aide de spécialistes des gaz sous pression. L'industrie des engrais azotés venait de naître. Par l'innovation chimique, le spectre d'un des pires fléaux naturels est pour la première fois écarté ! Il y a de quoi rendre la chimie populaire. Fritz Haber y gagne une notoriété mondiale. Il est « *l'homme qui fait du pain à partir de l'air et de l'eau* ». Il est un bienfaiteur de l'humanité. L'empereur d'Allemagne le fait baron. La synthèse de l'ammoniac le fait riche. Il dispose à Berlin d'une équipe de recherche internationale sans équivalent. Il fait venir Einstein dans la capitale allemande, le fait entrer à l'Académie des sciences et lui trouve un poste. Le prix Nobel de chimie de 1918 lui est attribué pour sa synthèse de l'ammoniac.

Pourtant, ce prix qui ne lui sera remis qu'en 1920 fera scandale. C'est qu'entre-temps, il aura figuré sur la première liste des criminels de guerre de 1919 pour avoir suggéré, mis au point, organisé l'utilisation des armes chimiques, chlore, phosgène, ypérite... Il pensait qu'avec ces armes sans équivalent chez les alliés, en contravention des accords internationaux, il créerait un tel choc que la guerre s'en trouverait plus vite finie. Son nom sera

gommé quelques mois plus tard, lorsque les négociateurs des traités échangeront la réduction de cette liste contre la saisie de brevets de procédés industriels importants. Malheureusement pour sa mémoire, ses recherches ultérieures sur des armes chimiques, strictement interdites par le traité de Versailles et camouflées en recherche d'insecticides, en feront le père du sinistre zyklon B.

Haber incarne l'ubiquité de la science et en particulier celle de la chimie. Son drame nous montre que le choix entre le bien et le mal appartient toujours à l'homme. Être homme de science ne donne aucune légitimité ou sagesse supplémentaire pour exercer ce choix. Nul doute que la guerre des gaz a détruit dans l'inconscient collectif l'image très positive que la chimie s'était acquise.

Et pourtant. Pourtant, d'autres fléaux millénaires seront bientôt surmontés grâce à elle.

C'est le cas des maladies infectieuses avec la découverte des sulfamides.

1932, quelque part en Allemagne quelques jours avant Noël. Une petite fille prépare les cadeaux de Noël avec sa mère. Elle se pique avec une épingle. Une infection se déclare et progresse rapidement. Les médecins sont formels. L'amputation près de l'épaule un instant envisagée serait une dernière souffrance inutile. L'enfant est perdue. Son père, fou d'angoisse, fonce à son laboratoire. Il a récemment préparé un produit chimique qui présente des effets bénéfiques sur des infections provoquées sur quelques souris. En dehors de toutes les règles, il prend le risque d'injecter à sa fille une dose de ce produit extrapolée à la va-vite de ses observations récentes. Vous imaginez la tension, l'attente oppressante du moindre signe d'évolution. Il semble que la fièvre tombe. Oui, elle tombe peu à peu. Trois jours après, la petite fille est

guérie et ... rouge de la tête aux pieds car le produit injecté colore puissamment les cellules. Il s'agissait, vous l'avez tous reconnue, de la sulfachrysoïdine qui deviendra le Prontosil. Ce produit allait ouvrir la voie révolutionnaire des sulfamides dans laquelle s'illustreraient l'Institut Pasteur et Rhône-Poulenc. Ce seront les premiers traitements efficaces contre les maladies infectieuses qui étaient alors la principale cause de mortalité. Jean Bernard, jeune interne à cette époque, datait de l'avènement des sulfamides la naissance de la médecine efficace. En traitant ainsi sa fille, Gerhardt Domagk avait pris un risque. Le risque de l'innovation. Cela lui valut le prix Nobel de médecine en 1939 !

Quelques années après ces anti-infectieux de synthèse, la biochimie consolidera la révolution thérapeutique de l'efficacité par les antibiotiques. Cette euphorie de l'efficacité dans la recherche thérapeutique se poursuivra jusqu'au début des années soixante, avec de multiples succès.

En 1962, la terrible affaire de la Thalidomide va la casser. La thalidomide est un médicament développé, enregistré et commercialisé, selon les règles établies de l'époque. Anti-nauséeux, il est prescrit aux femmes enceintes. Le critère d'efficacité restait la base de tout dossier d'enregistrement. Ce produit était efficace. La réglementation existait, mais demeurait peu exigeante en ce qui concernait les études de mutagénicité et de tératogénicité. Le drame sera identifié et imputé à ce médicament très tardivement, après que des milliers d'enfants soient nés viables mais phocomèles, c'est-à-dire avec des bras et des jambes sévèrement atrophiés ou inexistantes. Un grand nombre survivent aujourd'hui.

Où situer l'origine du drame ? Le produit était un racémique. C'est-à-dire que sa synthèse conduisait à un produit formé en quantités égales de deux produits strictement identiques dans leur composition atomique mais dont les

atomes étaient différemment disposés dans l'espace, comme le sont une main droite et une main gauche. Or, ces deux énantiomères, droit et gauche, possèdent des propriétés dissemblables. L'un d'entre eux n'apportait rien à l'efficacité mais provoquait l'effet tératogène. Le langage de la nature possédait une subtilité à laquelle on n'avait pas porté une attention suffisante. Certains mots peuvent blesser ou tuer lorsqu'ils sont mal utilisés.

Ce drame a été fondateur. Les méthodes de la recherche et du développement pharmaceutique ont été profondément remaniées. L'efficacité ne règne plus en maître. On découvre que la tolérance est tout aussi importante. Le médicament intervient avec efficacité sur un mécanisme biologique donné. Encore faut-il qu'il ne provoque pas dans le système complexe de l'être vivant pris dans son ensemble des effets collatéraux plus néfastes que l'avantage que procure son efficacité ! Les études de toxicité et de tolérance ont été multipliées au point qu'aujourd'hui le développement d'un médicament, qui les exige, dépasse sa recherche en durée et en coût. La notion de « *bénéfice thérapeutique* » met en rapport avantages et risques. Elle préfigure la nécessaire appréciation de toute activité humaine, par le rapport entre son bénéfice et les risques qu'elle présente pour l'environnement. L'organisation des systèmes de pharmacovigilance est une autre conséquence très positive de ce drame. La pharmacovigilance est le système d'alerte qui a manqué à l'époque pour pouvoir déceler et arrêter bien plus tôt ce phénomène désastreux. Il permet, avec la participation des médecins prescripteurs, de repérer l'éventuelle apparition d'effets indésirables lors de la commercialisation du médicament. Des effets graves et rares sont, en effet, statistiquement indécélables lors des études cliniques même si celles-ci portent sur des milliers de malades. La diffusion commerciale du médicament touche très vite de bien plus grands nombres de patients et un système d'alerte convenablement organisé fait « sortir » des effets inattendus et établit leur

imputabilité. Le médicament peut être retiré du marché, voir réduites ses indications, renforcées les précautions de son utilisation, selon la gravité des effets indésirables qui lui sont imputés.

Ajoutons que la vie fonctionne avec des énantiomères purs, gauches le plus souvent. Désormais, les médicaments sont des énantiomères purs. La synthèse organique en maîtrise la production dans des conditions économiques, même en présence de multiples carbones asymétriques.

Ajoutons encore qu'une thalidomide dénuée de l'énantiomère tératogène est aujourd'hui prescrite dans certaines pathologies inflammatoires cutanées liées au sida ou dans l'érythème noueux lépreux.

J'ai évoqué le fléau des maladies infectieuses. Celui des maladies parasitaires demeure l'un des tueurs les plus efficaces d'êtres humains. Le paludisme tue chaque année des centaines de milliers d'individus. Son vecteur est un moustique. En 1939, Paul Müller découvre le très puissant effet insecticide du dichloro-diphényl-trichloréthane ou DDT, molécule connue depuis 1874. Dès la fin de la guerre, après que l'armée américaine ait évité, fin 43 – début 44, une épidémie de typhus, dont le vecteur est le poux, en arrosant massivement de cette molécule la ville de Naples, une vaste campagne de traitement du moustique par le DDT est lancée dans 48 pays. Les résultats sont spectaculaires. Le nombre de malades et de morts décroît très fortement. Au point qu'en 1955, l'organisation mondiale de la santé (O.M.S.) lance un programme général d'éradication de la malaria. En 1961, elle avait été éradiquée ou drastiquement réduite dans plus de 37 pays.

Brutalement, l'OMS va pourtant renoncer à l'éradication et limiter ses ambitions au « *contrôle de la maladie là où ce sera possible* ».

Pourquoi ? Par la combinaison de deux démesures.

La première est que le DDT était alors massivement utilisé, à des doses très élevées parfois, en agriculture et en sylviculture. Souvenez-vous du pauvre Cary Grant traqué par un avion épandeur d'insecticides dans « *Mort aux troussees* » en 1959.

L'efficacité avant tout. Le DDT était un insecticide efficace. On l'utilisa *larga manu*. Des scientifiques s'inquiétèrent. Des ornithologues pour le risque de destruction de certains écosystèmes. Des biologistes pour le risque bien réel d'apparition de phénomènes de résistance. On ne les écouta pas. L'époque n'était pas à prendre en compte ce que la théorie économique appelle les externalités négatives, conséquences néfastes d'une activité dont les coûts ne sont pas portés au débit de ceux qui en tirent bénéfice. En bref, les pollueurs ne sont pas les payeurs.

C'est alors qu'intervint une deuxième démesure. Toute interaction réelle ou supposée avec l'environnement condamne sans discussion un produit ou une activité ! « *Le printemps silencieux* » de Rachel Carson publié en 1962 diabolise le DDT. Le silence des oiseaux, c'est le DDT ... Le DDT, c'est le silence de la mort. Ces trois lettres provoquent dès lors une peur panique. La désinformation fleurit, compagne habituelle de la démesure. Des résultats scientifiques sont même tordus pour mieux noircir le tableau. Un mouvement d'une rare violence se développe. Des menaces de rétorsion seront exercées, par les États-Unis notamment, sur certains pays pour obtenir l'interdiction totale de ce produit.

L'OMS qui ne dispose pas de substituts au DDT doit alors renoncer à l'éradication. Les morts qui auraient pu être évités vont se compter en centaines de milliers. Oui, en centaines et centaines de milliers. Les irresponsables coupables de ce massacre n'ont jamais été inquiétés.

Il faudra attendre l'an 2000 et la réunion de Johannesburg pour que des centaines de scientifiques de 63 pays, dont plusieurs prix Nobel, lancent un appel solennel pour rejeter cette interdiction et soulignent le bénéfice que l'on peut attendre de la pulvérisation de DDT à l'intérieur des habitations. Depuis, la situation a évolué. La pulvérisation intra domiciliaire est une solution utilisée pour contrôler le vecteur du paludisme. Et si le DDT connaît aujourd'hui des substituts, son faible prix et sa forte rémanence en font un insecticide de choix pour les habitations traditionnelles à murs poreux, dans les zones de faible résistance. Rappelons que 50 % des êtres humains habitent dans des maisons en terre.

J'ai souhaité avec ces quelques exemples vous faire partager diverses facettes de la relation entre la chimie et l'histoire des hommes : des liens immémoriaux, puis avec la découverte du langage de la nature, des avancées magnifiques souvent, des manques certains parfois, liés à l'ignorance, des erreurs mortifères aussi par la démesure dans l'excès comme dans la prudence, ou même le dévoiement au service du mal. Ce dernier point n'est pas particulier à la chimie : on ne reproche pas aux pierres taillées l'usage criminel des haches de pierre...

La question est maintenant de savoir si ce pacte millénaire entre la chimie et les hommes doit ou non être dénoncé au moment où l'espèce humaine entre dans une phase nouvelle qui présente tous les traits d'une mutation.

3-Des liens renouvelés et durables.

Le premier milliard d'êtres humains avait été atteint vers 1800. Dans les années 40, nous étions 2,5 milliards. Aujourd'hui, 6,8 milliards. Demain, vers 2050, 9 milliards et plus.

Pour la première fois en une vie d'homme, les gens de ma génération auront vu l'espèce humaine tripler en nombre d'individus. Elle va continuer de s'accroître de 50 % entre 2000 et 2050. Et les deux tiers de cet accroissement auront lieu dans des pays pauvres.

Pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, la génération nouvelle ne remplacera pas la précédente. Ce phénomène est aujourd'hui masqué par l'allongement général de la durée de vie.

Pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, 50 % des êtres humains habitent dans des villes, et cette proportion devrait atteindre 80 % vers 2050.

Alors que le progrès, qui se voulait à l'origine universel, n'avait jusqu'à une date récente profité qu'à 20 % de l'humanité, voilà que des masses humaines considérables s'invitent avec force à sa table : la Chine, l'Inde, le Brésil et d'autres encore, soit plus de 40 % de l'humanité.

Pour la première fois dans son histoire, l'espèce humaine dans son ensemble s'interroge sur les conséquences de ses activités sur les conditions de vie sur la planète.

Toutes ces premières fois suffiraient à justifier l'emploi du mot de mutation. Mais ce n'est pas tout.

L'espèce humaine est devenue une véritable force de la nature. Il n'y a plus un seul recoin sur cette planète et dans son environnement immédiat qui ne porte son empreinte.

Cette force nouvelle provoque des déconnexions qui perturbent l'ordre antérieur.

Déconnexion entre le rythme de sa propre évolution, lié aux sciences et aux technologies, et le rythme darwinien de l'évolution des autres espèces ou le rythme d'évolution des cycles et des écosystèmes naturels.

Déconnexions entre les deux composantes biologique et culturelle de chacun d'entre nous : notre composante biologique peine à s'adapter au rythme de l'évolution de sa composante culturelle, imposé pour l'essentiel par les sciences et les technologies.

Déconnexions encore au sein de l'espèce humaine, entre la partie la plus développée et celle qui continue à vivre dans des conditions proches du néolithique.

De plus, l'espèce humaine a commis le plus souvent inconsciemment de multiples transgressions. Elle est entrée par effraction dans des cycles naturels qu'elle a perturbés, elle a bousculé des écosystèmes dont elle ignorait jusqu'à l'existence. Elle en est aujourd'hui consciente et c'est un facteur majeur de sa mutation. Consciente de sa puissance dominatrice et parfois destructrice, elle sent qu'elle doit rejeter le modèle de développement suivi jusqu'ici. C'est tout l'enjeu du développement durable, qui implique une vraie mutation dans nos comportements.

La chimie, dont nous avons vu les liens étroits qu'elle a entretenus avec le modèle ancien, est entraînée dans son rejet. Et la mémoire très vive dans l'opinion publique de Seveso, de Bhopal, d'AZF, justifie à ses yeux ce rejet.

De Bhopal, je dirai qu'il s'agit d'un désastre humain épouvantable. Désastre criminel dû au mépris inacceptable de la sécurité, provoquée par

l'incompétence alliée à la cupidité. Pour AZF, restons-en aux conclusions des spécialistes qui ne l'expliquent pas. Quant à la catastrophe de Seveso de 1974, je voudrais rappeler qu'en plus d'une petite fille dont le visage est resté grêlé par la chloracné provoquée par la dioxine, ce qui est déjà trop bien sûr, elle a fait un seul mort : le directeur de l'usine, assassiné par les brigades rouges.

Mais « puisqu'il nous faut rejeter le modèle de développement ancien, il nous faut rejeter la chimie qui l'a si bien servi ». Logique en apparence, ce raisonnement est incohérent en réalité. Doublement incohérent. D'abord parce que le développement durable exige un dialogue beaucoup plus approfondi avec la nature dans toute sa complexité. Et c'est précisément par la chimie, qui, répétons-le est le langage de la nature, que nous parviendrons à l'établir. Deuxièmement, des besoins immenses se font jour liés à l'évolution démographique et à l'exigence accrue de bien-être et de dignité des êtres humains, auxquelles il sera impossible de répondre « durablement » sans une chimie nouvelle. Qu'on le veuille ou non, les besoins d'énergie, d'eau, de nourriture vont doubler d'ici à 2050. Sauf à imposer par la violence totalitaire une autre évolution de la démographie ou des conditions de vie.

Il faut avoir le courage de dire que la condition humaine est de transgresser certaines des lois de la nature. Ce n'est pas contradictoire avec ce que je rappelais de Descartes au début de cet entretien. L'homme a eu l'audace d'opposer la protection du faible à la sélection naturelle qui ne pardonne pas la faiblesse. L'homme a donné à l'individu des droits pour se défendre alors que la loi naturelle exige le sacrifice de l'individu à l'espèce. « L'homme » disait le professeur Hamburger « a fait souffler l'esprit sur un monde qui l'avait jusqu'alors ignoré ». Il ajoutait cette magnifique question : « comment éviter le châtement de nos belles imprudences » ?

Cette question, Mesdames et Messieurs, est au coeur de notre réflexion sur la place de la chimie dans le développement durable. Nos belles imprudences consistent à ne pas nous laisser dominer par la nature. Mais nous commettrions des imprudences coupables à exercer sur elle une domination sans borne. Entre les deux, la voie est étroite et exige pour ceux qui veulent s'y maintenir l'acquisition de nombreuses connaissances qui nous font encore défaut et, pour y cheminer, beaucoup d'innovations.

Nous mesurons chaque jour un peu mieux la complexité des phénomènes naturels. Souvenons-nous de cette découverte étonnante annoncée à Montpellier en 1990 lors du deuxième congrès mondial de l'arbre : les arbres se parlent ! Évidemment leur langage est chimique. Un arbre agressé prévient en quelques minutes ses voisins en émettant par son feuillage des molécules simples qui sont autant de messages d'alerte pour qu'ils mettent en place très rapidement un système de défense.

On sait désormais combien ces échanges sont fréquents dans la nature. Échanges entre les arbres, le sol, les plantes, les insectes, les micro-organismes..., partout autour de nous, des organismes vivants « chuchotent » dans un langage chimique que nous entendons depuis peu. Tant que nous étions sourds à ces conversations, nous les interrompions involontairement en provoquant souvent des dommages. Un immense besoin de connaissances scientifiques supplémentaires est aujourd'hui nécessaire, pour entrer dans les finesses de la complexité de la nature. Un immense besoin de chimie se fait sentir !

Extraordinaire complexité des systèmes climatiques. Du rôle de la tectonique des plaques à celui du phytoplancton dans les échanges de la biogéochimie, un énorme travail reste à accomplir pour parvenir à des

connaissances capables de guider nos actions face aux variations climatiques. Il y a vingt ans, la biogéochimie n'était pas enseignée dans nos universités.

Extraordinaire complexité des mécanismes de notre santé. Pour ne prendre que cet exemple, les travaux récents sur la métagénomique intestinale vont bouleverser bien des idées reçues et détruire quelques illusions entretenues autour de la seule génomique humaine.

Extraordinaire complexité des interactions entre le sol, les plantes, les insectes, les micro-organismes, qu'il faut absolument approfondir pour parvenir à une véritable agriculture raisonnée.

Dans toutes ces demandes de connaissances nouvelles, la chimie tient une place de choix.

Elle a historiquement démontré sa flexibilité. La chimie organique a su utiliser comme source de ses productions des produits renouvelables, animaux ou végétaux. Elle s'est ensuite et successivement tournée vers des sources fossiles non renouvelables comme le charbon, pétrole, le gaz... Le développement durable l'incite aujourd'hui à reconsidérer des sources renouvelables. En 1998 la Direction américaine de l'énergie estimait que l'évolution du rôle de la biomasse comme matière première de la chimie organique passerait de 7 % en l'an 2000 à 50 % en 2050 et atteindrait 80 % en 2100. Je ne porte pas de jugement sur la validité de cette prévision. Mais je constate que dans les années 70, nous utilisions des millions de mètres cubes d'éthylène dérivé du pétrole pour produire de l'éthanol. En 2010, l'éthanol provient à 100 % de céréales. Au Brésil la situation s'est même inversée : l'éthylène y est produit à partir d'éthanol !

Dans les années 70, l'acide lactique était produit pour moitié à partir de pétrole et pour moitié à partir de sucre. Depuis, sa très forte croissance s'est faite exclusivement à partir de la biomasse.

Aujourd'hui, 300 à 400 000 produits sont dérivés du pétrole ou du gaz. 20 à 30 000 le sont à partir de végétaux. La substitution progressive par le végétal comporterait, vous le voyez, de formidables enjeux !

La chimie a déjà beaucoup apporté au développement durable. L'époque n'est pas si lointaine où nous roulions avec de l'essence « gonflée » au plomb tétraéthyle. Tout le monde et nos moteurs en étaient très satisfaits, jusqu'à ce qu'il soit prouvé que nos enfants avaient des taux sanguins en plomb qui devenait neurologiquement dangereux. Il n'a pas fallu très longtemps pour substituer des éthers à ce plan.

De même, lorsqu'à la suite des inquiétudes sur le « trou d'ozone », un accord international a décidé de supprimer les CFC de nos systèmes de réfrigération, l'industrie chimique y a adhéré et elle a su entraîner ses clients vers des produits de substitution.

Au sein de Rhône-Poulenc chimie, j'ai eu la chance de voir aboutir des projets qui me tenaient à coeur, aussi importants que le filtre à particules pour les moteur diesel avec PSA , le pneu « vert » avec Michelin, un béton révolutionnaire avec Lafarge, les vitres autonettoyantes avec Saint-Gobain... Toutes ces innovations ont entraîné des réductions drastiques de pollutions, de consommations d'énergie et d'eau. Les moteur diesel émettaient une quantité impressionnante de très fines particules de carbone, si fines qu'elles pénétraient très profondément dans les bronches où elles se montraient très nocives. Des systèmes basés sur la chimie des terres rares ont permis de les supprimer à 99,9 %. Le moteur diesel, dont le rendement est supérieur de 30 % à celui du moteur à essence, est ainsi devenu plus écologique que celui-ci

A l'évidence, la chimie se remet en cause pour intégrer les exigences du développement durable. Elle a adopté, elle met en place, les principes de la « green chemistry » établis depuis les années 90. Vous connaissez sans doute les 12 principes de cette chimie nouvelle. Je ne vais pas vous les infliger ce soir, mais je veux souligner qu'ils ne relèvent pas de je ne sais quel « window dressing » : ils appellent des changements profonds. Les exemples se multiplient de recherches pour repenser tous les procédés, le choix des matières premières, des solvants, des catalyseurs, de l'énergie et des voies de synthèse utilisées. L'éco- efficacité est aujourd'hui déjà assez largement la règle. L'évolution de l'éco-efficacité vers l'éco- conception est en marche. Non seulement se met en place une chimie nouvelle qui incorpore les exigences du développement durable, mais on peut affirmer que le développement durable ne réussira pas sans cette chimie nouvelle. Et comme depuis les origines de l'industrialisation, la chimie restera l'industrie « industrialisante » par excellence. Tous les secteurs d'activité, énergie, bâtiment, transports, santé, agriculture, loisirs..., tous, pour se plier aux contraintes du développement durable, devront faire appel à cette chimie nouvelle.

Avant de terminer je souhaite souligner que, contrairement à ce que voudraient nous faire croire Messieurs Alain Gore, Artus Bertrand et d'autres, la nature n'est pas une déesse bienfaitrice que l'homme insulterait par sa seule présence, ses excès et son ingratitude ! La planète se moque éperdument de l'aventure humaine. À cinq reprises déjà, elle a profondément et brutalement remodelé les conditions de la vie, provoquant des extinctions massives d'espèces. Elle a vécu des milliards d'années sans l'homme et continuerait à le faire s'il venait à disparaître. Aussi combien me paraît-il vain pour l'homme de prétendre « sauver la planète » ! L'homme doit maîtriser sa propre aventure, poursuivre sur la voie d'une humanisation toujours accrue. Il doit approfondir son dialogue avec la nature pour mieux protéger les conditions de sa vie sur

Terre. Il doit apprendre à connaître et à respecter les cycles naturels, les écosystèmes, la biodiversité. Il doit aussi apprendre à anticiper leurs inéluctables variations. Et il faut le redire sans se lasser, la chimie est l'instrument privilégié de ce dialogue nécessaire !

Raymond Aron considérait que trois révolutions avaient marqué jusqu'ici l'aventure humaine : la maîtrise du feu, la révolution néolithique, la révolution technologique. Ce sont trois étapes de natures très différentes.

La maîtrise du feu a donné aux hominidés, si fragiles et vulnérables, un avantage compétitif considérable sur d'autres espèces, et leur a ouvert de nouvelles niches écologiques.

La révolution néolithique traduisait le refus des humains de subir la domination de la nature. Ce fut un temps exceptionnel d'innovations techniques et sociétales.

La révolution technologique depuis la fin du XIXe siècle, c'est l'homme dominateur, la nature subissant l'efficacité de l'homme qui l'exploite comme un objet en sa possession.

Une étape suivante, tout aussi importante que les trois précédentes, est en train de s'ouvrir. Elle sera plus empreinte de symbioses que de dominations, de responsabilités et d'équilibres que de brutales possessions. La nature n'y sera plus considérée comme un objet mais pour ce qu'elle est, un système de systèmes vivant, dont l'espèce humaine fait partie intégrante.

La grandeur de l'aventure humaine consiste à reconnaître à la fois cette dépendance et à dominer par l'esprit la complexité de ce système.

La chimie toujours plus approfondie et renouvelée accompagnera durablement cette aventure. Et tous les chimistes qui sont dans cette salle y prendront, j'en suis convaincu, toute leur part. Je vous remercie.

