

Chapitre 1 : Chimie et enjeux planétaires

La chimie comme tous les domaines a ses inconvénients et ses avantages.

I.1 Image de la chimie au XX^{ème} siècle

En XX^{ème} siècle la chimie a connu un avancé exponentiel dans tous les domaines, la chimie est l'un des domaines économiques les plus prospères. L'industrie chimique est un pilier fondamental de l'économie mondiale, représentant environ 3 % de la capitalisation boursière mondiale et fournissant des intrants essentiels à presque toutes les autres industries (automobile, santé, construction, agriculture, aérospatiale et les énergies renouvelables). Dominée par la Chine, les États-Unis et l'Allemagne, elle est un moteur d'innovation et d'exportation.

Poids Économique et Industriel de la Chimie :

- La chimie est le moteur de nombreuses autres filières industrielles, rendant le tissu industriel mondial dépendant de sa production ;
- Le secteur est fortement exportateur et génère beaucoup d'emplois ;
- La chimie est le 4^{ème} secteur industriel en termes de dépenses dans le domaine de recherche et développement.

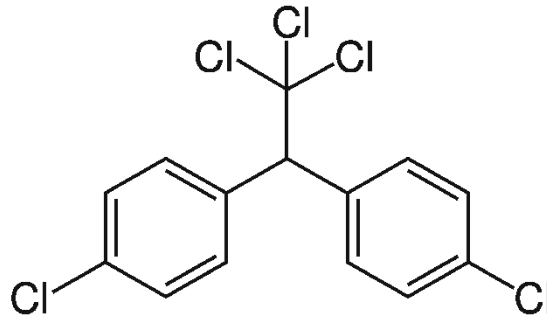
Avec tous ces retombés économiques, la chimie présente aussi des inconvénients :

Les produits chimiques sont des substances :

- Cancérogènes, ils provoquent des cancers ;
- Mutagènes, ils altèrent le patrimoine génétique ;
- Reprotoxiques, ils nuisent au développement de fœtus.

Exemples de produits chimiques toxiques utilisés

1/ Domaine agricole : le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), est un insecticide organochloré puissant, utilisé historiquement pour lutter contre les ravageurs agricoles. Très stable et persistant, il s'accumule dans la chaîne alimentaire (bioaccumulation) et est interdit dans de nombreux pays depuis les années 1970-1980 en raison de sa toxicité pour l'environnement et la santé humaine. Le DDT est hautement soluble dans les graisses et presque insoluble dans l'eau, il est synthétisé en 1874, ses propriétés insecticides ont été découvertes en 1939 par Paul Hermann Müller. Il persiste longtemps dans l'environnement et se déplace sur de longues distances. Il est célèbre pour avoir provoqué l'amincissement des coquilles des œufs d'oiseaux, menaçant la reproduction de plusieurs espèces. Il est considéré comme un polluant organique persistant (POP). Il est lié à des problèmes de foie, de reproduction chez les animaux et est suspecté d'être cancérogène chez l'être humain.

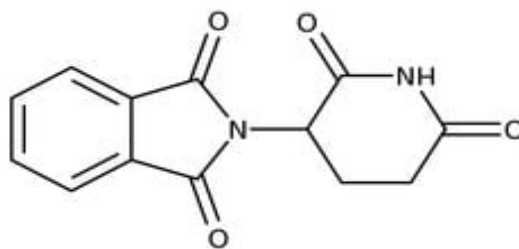


La formule chimique du DDT

2/ Domaine pharmaceutique : La thalidomide, est un médicament principalement utilisé dans le traitement du cancer de la moelle osseuse, souvent en combinaison avec d'autres thérapies (melphalan, prednisone). Connu sous les noms de spécialité Thalidomide BMS ou Thalidomide Accord, ce composé est un agent immunomodulateur et angiogénique puissant. En raison de sa haute tératogénicité (risques graves de malformations fœtales), son usage est strictement réglementé et interdit pendant la grossesse.

(Les immunomodulateurs sont des substances, souvent des médicaments (interférons, anticorps monoclonaux, corticoïdes), qui régulent, stimulent ou suppriment la réponse du système immunitaire pour traiter des maladies inflammatoires, auto-immunes (sclérose en plaques, polyarthrite) ou des cancers.)

(L'angiogénèse est le processus physiologique de formation de nouveaux vaisseaux sanguins à partir d'un réseau préexistant.)



La formule chimique du Thalidomide

En plus de la toxicité des produits de la chimie, l'industrie chimique a provoqué beaucoup de catastrophes :

1/ Catastrophes industrielles

1956 Minamata, Japon : déversement des résidus de mercure dans la baie de Minamata par l'usine chimique Chisso qui produisait de l'acétaldéhyde (CH₃CHO) en utilisant l'oxyde de mercure comme catalyseur.

La **maladie de Minamata** est une forme d'intoxication au mercure qui a touché durant des décennies des milliers d'habitants des environs de la baie de Minamata, au Japon. Les symptômes et syndromes subis par ces malades se caractérisent par des troubles physiques et neurologiques graves et permanents induits par l'intoxication aux composés de mercure (monométhylmercure principalement CH₃Hg⁺). Cette catastrophe a causée des milliers de malades et d'handicapés en consommant le poisson pêché dans ce milieu contaminé.

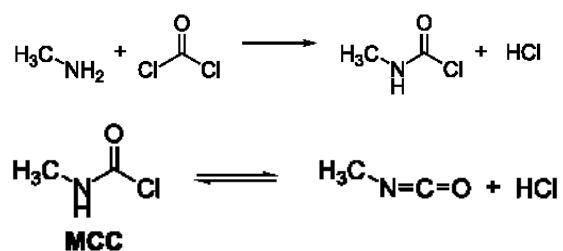
$2 \text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CH}_3\text{CHO}$ en présence de HgO.

3 Décembre 1984 Bhopal, Inde : Explosion d'une usine d'une filiale de la firme américaine Union Carbide produisant des pesticides et qui a dégagé environ quarante tonnes d'isocyanate de méthyle dans l'atmosphère de la ville.

Considéré comme l'une des pires catastrophes industrielles de l'histoire, cet accident tue officiellement 3828 personnes, ce bilan ayant été revu en 1989 à 3598 morts, puis à 7575 en 1995. Il fit en fait entre 20000 et 25000 morts selon les associations de victimes. Il y aurait eu 3500 morts la première nuit et un grand nombre par la suite : la moitié dans les premières semaines et l'autre moitié de maladies provoquées par l'exposition aux gaz.

L'isocyanate de méthyle

Est un puissant insecticide, obtenu par réaction du phosgène avec du monoéthylamine, ce qui produit de l'isocyanate de méthyle (CH₃-N=C=O) produit extrêmement toxique et allergène : c'est un produit qui attaque gravement l'appareil respiratoire, les yeux et la peau. Ce liquide très dangereux pour tous les êtres vivants doit être confiné à une température inférieure à 0°C, température au-delà de laquelle il se transforme en un gaz plus lourd que l'air. Il est explosif au contact de l'eau et de la poussière métallique.



21 septembre 2001 : l'explosion de l'usine chimique AZF à Toulouse, France fait 30 morts et plus de 2 500 blessés tout en causant des destructions importantes à Toulouse.

4 Aout 2020 : Explosion au port de Beyrouth, l'origine du souffle destructeur sur la ville serait l'explosion d'un stock de 2750 tonnes de nitrates d'ammonium qui sert dans la fabrication des engrais, laissé en attente depuis 2014 au port. L'explosion a causée 158 morts, 60 disparus, 6 000 blessés, 250 000 à 300 000 personnes sans-abris. Près de la moitié de Beyrouth est détruite ou endommagée.

2/ Catastrophes liées au pétrole

• **23 Mars 1989 en Alaska** : Naufrage du pétrolier Exxon Valdez. L'*Exxon Valdez* est un pétrolier américain qui s'échoua en 1989 sur la côte de l'Alaska et provoqua une importante marée noire. L'échouement de ce navire, et ses conséquences environnementales ont eu un grand retentissement aux États-Unis et entraînent des modifications significatives de la législation américaine sur le transport maritime, en particulier de pétrole.

L'échouement a provoqué le déversement de 40 000 tonnes de pétrole brut. Plus de 7 000 km² de nappes polluèrent 800 km de côtes.

Les conséquences sur l'avifaune sont considérables : les hydrocarbures échappés de l'Exxon Valdez sont responsables de la mort d'environ 300 000 oiseaux, dont seulement 30 000 ont pu être récupérés. À titre de comparaison, le naufrage de l'Erika dix ans plus tard, au large des côtes françaises et britanniques, conduit à la disparition de 115 000 à 150 000 oiseaux marins.

• **12 décembre 1999** : naufrage de l'Erika, pétrolier, au large des côtes françaises. 12 000 tonnes de pétrole lourd répandues.

• **20 avril 2010** : la plateforme pétrolière (Deep water Horizon) coule dans le Golfe du Mexique au large de la Louisiane, provoquant l'une des marées noires les plus graves depuis la catastrophe de l'Exxon Valdez. Onze travailleurs y sont morts.

3/ Catastrophes nucléaires

Les catastrophes nucléaires majeures ont marqué l'histoire par des rejets radioactifs considérables et des conséquences sanitaires durables.

- **Tchernobyl (Ukraine, 1986)** : Explosion du réacteur n°4, causant la plus importante contamination radioactive non contrôlée de l'histoire.
- **Fukushima Daiichi (Japon, 2011)** : Suite à un séisme et un tsunami, le système de refroidissement a défailli, entraînant la fusion de plusieurs réacteurs, classé niveau 7.

- **Three Mile Island (USA, 1979)** : Fusion partielle du cœur du réacteur nucléaire suite à une série de défaillances, classé niveau 5, sans conséquence sanitaire immédiate majeure mais impactant l'industrie.

I.2 Développement durable

1. Définition

Le développement durable est une notion de réalisation de projets de différents types en prenant en considération trois critères de base : l'équité sociale, l'efficacité économique et le respect de l'environnement.

Actuellement, au niveau mondial, les ressources en matière première diminuent. La pollution augmente et continue à avoir de plus en plus d'effets visibles sur la planète. D'autre part, des problèmes d'ordre social et économique se font de plus en plus ressentir, comme le chômage, la surpopulation, les problèmes de santé, d'éducation, d'exclusion, de pauvreté, de malnutrition...

Le développement durable vise à résoudre tous ces problèmes à la fois. Par l'équité sociale, le respect du droit des travailleurs, la diminution du chômage, ce qui résout beaucoup d'autres problèmes sociaux et enrayer les inégalités. L'être humain est respecté et ses droits préservés. Les plus démunis sont protégés.

Par efficacité économique, les projets aboutissent et sont rentables pour le pays ou la région, et aussi pour les travailleurs.

Par le respect de l'environnement, la pollution diminue et la planète est préservée.

Le développement durable est basé sur une idée fondamentale qui consiste à être conscient que les ressources de la planète ne sont pas illimitées, tandis que la population ne cesse d'augmenter (plus de 8 milliards d'habitants actuellement et plus 9 milliards en 2050 selon les prévisions de l'ONU) et les technologies de se développer.

Le développement durable est donc bénéfique pour les générations futures tout en profitant aux générations actuelles. C'est un développement à long terme.

2. Historique

Le premier modèle de développement durable a été proposé par l'économiste Thomas Malthus, qui a analysé en 1798 dans son ouvrage intitulé (*Essai sur le principe de population*) la durabilité de la société. Il a mis en relief la relation entre la disponibilité de la nourriture et la croissance démographique. En 1968, un groupe de scientifiques appelé « Groupe de Rome », a été créé pour analyser les problèmes majeurs de l'humanité afin d'aider les décideurs et d'informer le grand public. Ce groupe était composé de spécialistes de l'environnement, d'économistes, d'hommes d'Etat, d'hommes d'affaires et de hauts dignitaires internationaux. Leur but était d'élaborer une vision universelle de la situation de l'humanité. Ils ont confié le projet à une équipe de chercheurs dirigée par Jay Forrester de la prestigieuse université américaine Massachusetts Institute of Technology. Les résultats de ces travaux ont poussé le Groupe de Rome à préconiser l'arrêt de la croissance économique mondiale. Ce groupe existe toujours et a actuellement pour rôle de sensibiliser les dirigeants aux problèmes liés à la planète.

La première conférence sur le développement durable a eu lieu à Stockholm du 5 au 16 juin 1972 avec plus de 1400 participants de 113 pays. Elle avait pour slogan « Une seule Terre ». Un modèle de développement économique qui tient compte de l'écologie y est né. Il s'agit de l'écodéveloppement. Selon ce modèle, les pays développés doivent utiliser tous les moyens pour préserver l'environnement car ce sont les premiers responsables de la pollution dans le monde et les seuls qui disposent de moyens financiers pour le faire.

La « déclaration de Stockholm » est considérée comme le début du développement durable. Elle est constituée de 26 principes qui portent sur la protection de l'environnement, l'éradication de la pauvreté et l'amélioration des conditions économiques dans le monde.

Le 16 novembre 1972, l'ONU a mis en place une convention qui concerne la protection du patrimoine mondial culturel et naturel.

Un rapport fait par le premier ministre norvégien Brundtland en 1987 et commandé par les Nations Unies fait apparaître pour la première fois la notion de développement durable. Ce rapport préconise un changement radical dans le processus de développement en considérant la protection de l'environnement comme une priorité et en insistant sur une redistribution équitable des richesses mondiales.

3. Fondements du développement durable

Le développement durable repose sur trois fondements principaux qui sont :

- 1- L'équité sociale
- 2- L'efficacité économique
- 3- La protection environnementale

4. Objectifs

Le développement durable consiste à un développement économique accompagné d'un développement social et écologique. Il ne consiste pas seulement en la croissance économique et de la consommation. Le mot durable signifie un développement qui vise à améliorer la condition humaine, en même temps que l'économie et l'environnement. Ces trois éléments sont indissociables.

En effet, l'éradication de la pauvreté ne peut se faire sans développement économique pour financer les programmes sociaux. D'un autre côté, il n'est pas possible de répondre aux besoins de la population mondiale sans croissance économique.

La protection de l'environnement doit accompagner la croissance économique, sans cela, les ressources de la Terre s'épuiseront.

La protection de l'environnement doit accompagner la lutte contre la pauvreté car les populations pauvres sont susceptibles de mener des actions non écologiques pour survivre, comme la destruction des forêts, des cours d'eau, ou la pêche intensive, ...etc.

C'est pour cela que les trois objectifs du développement durable qui sont : l'écologie, la lutte contre la pauvreté et la protection des ressources de la Terre sont indissociables.

3- Défis du XXI^{ème} siècle pour les chimistes (produire, prévenir, recycler)

Les chimistes du XXI^e siècle doivent relever des défis majeurs pour le développement durable en adoptant une chimie verte et circulaire. Les priorités incluent la transition énergétique (hydraulique, hydrogène, vent et solaire), le remplacement des ressources fossiles par des matières premières renouvelables, la réduction des déchets, l'utilisation de solvants non toxiques et la conception de matériaux durables.

Les défis spécifiques pour une chimie durable comprennent :

- **Transition énergétique et stockage** : Développer de nouvelles technologies pour le stockage de l'énergie, les biocarburants de 2^e et 3^e génération, ainsi que la production d'hydrogène.

(Les biocarburants de 2e et 3e générations sont des carburants renouvelables avancés qui n'entrent pas en concurrence directe avec l'alimentation. La 2e génération utilise la biomasse lignocellulosique (résidus agricoles, bois), tandis que la 3e génération est issue de micro-organismes (algues). Ils visent à réduire les gaz à effet de serre)

- **Chimie verte et matériaux durables** : Concevoir des produits moins toxiques, biodégradables et issus de ressources renouvelables (biomasse) pour remplacer le pétrole.
- **Procédés catalytiques** : Favoriser la catalyse pour augmenter la vitesse des réactions tout en réduisant la consommation d'énergie et les sous-produits.
- **Économie circulaire et recyclage** : Développer des procédés permettant le recyclage des matériaux et limitant l'utilisation d'intermédiaires de synthèse.
- **Sécurité et environnement** : Réduire les risques d'accidents industriels, les émissions de composés dangereux et assurer la dégradation des produits chimiques en fin de vie.
- **Agriculture et santé** : Améliorer la protection des cultures et la qualité alimentaire tout en minimisant l'empreinte environnementale.

Ces objectifs nécessitent une innovation constante, alliant recherche fondamentale et technologique.