

ÉCONOMISER LES RESSOURCES ET RESPECTER L'ENVIRONNEMENT

L'APPORT DE LA CHIMIE AU

RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

I. LA CHIMIE

Par définition, la chimie est une science qui étudie la constitution atomique et moléculaire des corps, ainsi que leurs interactions. Elle s'intéresse à toute matière (origine, composition, évolution, réactions dans les différents milieux, propriétés...)

La chimie fait partie intégrante de notre vie quotidienne. Dans vos vêtements, votre voiture, vélo, TV, chaîne hi-fi, téléphone, chaises, canapés, tables... la chimie est présente dans tous les domaines comme la médecine, la santé, l'agriculture, l'énergie, l'électricité, l'agroalimentaire, l'industrie nucléaire, la transformation de ressources fossiles (pétrole, gaz...) et bien beaucoup d'autres domaines sur la planète...et même dans votre corps (la respiration, la digestion...font partie de la chimie !).

Considérée comme polluante et dangereuse, la chimie a une image négative auprès du grand public. Parmi les matières premières utilisées en chimie, le pétrole constitue la principale ressource. Le pétrole est ressource fossile épuisable et les recherches ne cessent depuis longtemps pour trouver des alternatives naturelles renouvelables et moins polluantes pour l'environnement et la santé humaine. Ainsi, dans une politique de développement durable et du

respect de l'environnement, une nouvelle notion a été proposée, la chimie dite « durable » ou « verte ».

II. LA CHIMIE DURABLE OU VERTE

La chimie durable ou verte vise à limiter l'impact négatif de la chimie sur l'être vivant et son environnement. Elle s'inscrit dans une démarche de développement durable, visant à développer et respecter différents principes, dont principalement :

- L'économie des atomes
- Limitation des déchets
- La conception des synthèses chimiques moins dangereuses
- La réduction de l'utilisation de solvants organiques
- L'utilisation de matières premières renouvelables
- L'augmentation du rendement énergétique des processus industriels énergivores
- L'utilisation de catalyseurs, la limitation de produits secondaires, la limitation des risques d'accident

Dans la suite de cette fiche, nous allons développer quelques principes ;

III. COMMENT APPLIQUER LA CHIMIE DURABLE ?

1. L'ECONOMIE D'ATOMES ET LA LIMITATION DES DECHETS

Un des principes de la chimie durable est de choisir les réactions de synthèse qui minimisent le nombre de réactions et évitent les pertes au maximum.

L'efficacité d'une synthèse chimique par rapport à la limitation des pertes, peut être qualifiée par deux grandeurs : l'économie atomique (UA) et le facteur E.

L'économie atomique (UA) est définie comme le rapport de la masse molaire du produit recherché sur la somme des masses molaires de tous les produits qui apparaissent dans l'équation de la réaction.

$$UA = \frac{\text{Masse molaire de l'espèce chimique recherchée}}{\sum \text{Masses molaires de tous les produits formés}} * 100 \quad \text{Equation 1}$$

Le résultat obtenu est un pourcentage. Chaque masse molaire est pondérée par le coefficient stœchiométrique de chaque atome présent dans le produit recherché et les produits secondaires formés.

Plus l'UA est proche de 100 %, plus le procédé est efficace en terme d'économie d'atomes et moins il génère de déchets. Les réactions d'addition, qui ne génèrent aucun sous-produit (tous les atomes des réactifs se réarrangent pour former un seul produit), présentent une économie d'atomes maximale (100 %), contrairement aux réactions de substitution et d'élimination qui génèrent un ou plusieurs sous-produits.

Le facteur E : E désigne le rapport de la masse de sous-produits formés par la masse du produit recherché.

$$E = \frac{100-UA}{UA} \quad \text{Equation 2}$$

Avec UA en %

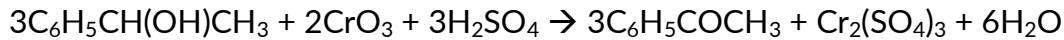
E = 0 dans le cas d'une « réaction parfaite », ne produisant aucun sous-produit. A l'opposé, le facteur E est supérieur à 1 si l'on obtient une masse de sous-produits plus forte que celle du produit recherché. Pour l'industrie pharmaceutique E est supérieur à 25.

Le facteur E ne prend pas en compte la dangerosité des sous-produits formés par les réactions chimiques et il apporte autant d'information que l'UA.

Exemple 1 : Oxydation des alcools

Considérons par exemple les réactions d'oxydation de l'alcool par l'oxyde de chrome (réaction stœchiométrique) ou par le dioxygène (réaction catalytique). Nous prenons en exemple $C_6H_5CH(OH)CH_3$ comme alcool. Le produit recherché (obtenu) est le $C_6H_5COCH_3$

La réaction d'oxydation par l'oxyde de chrome est la suivante :

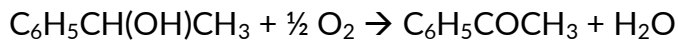


Calculons NA et E de cette réaction:

$$NA = \frac{3 * M_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_3}}{3 * M_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_3} + 1 * M_{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3} + 6 * M_{\text{H}_2\text{O}}} * 100 = \frac{360}{360 + 392 + 108} * 100$$
$$= \mathbf{41,8 \%}$$

$$E = \frac{100 - 41.8}{41.8} = 1.39$$

La réaction d'oxydation par le dioxygène (en présence d'un catalyseur à base de cuivre) est la suivante :



Calculons NA et E de cette réaction:

$$NA = \frac{1 * M_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_3}}{1 * M_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_3} + 1 * M_{\text{H}_2\text{O}}} * 100 = \frac{120}{120 + 18} * 100 = \mathbf{86,9 \%}$$

$$E = \frac{100 - 86.9}{86.9} = 0.15$$

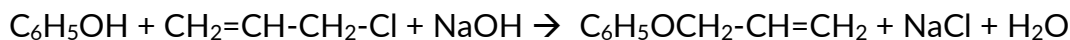
L'utilisation d'un catalyseur a permis d'optimiser l'efficacité du procédé (économie des atomes) et moins de déchets (limitation des déchets).

Dans ce cas particulier, il faut noter que les sels de chrome, sous-produits très toxiques de la réaction stœchiométrique, n'apparaissent plus dans la réaction catalysée. Pour quantifier cet avantage supplémentaire, il est possible d'introduire un facteur environnemental Q qui tient compte de la toxicité des sous-produits, de la facilité de séparation, de leur caractère recyclable, etc. C'est alors le produit E.Q qui est le plus pertinent pour quantifier l'impact environnemental du procédé. Pour les réactions précédentes, on attribuera un facteur Q = 1 à l'eau et Q très supérieur à 1 pour les sels de chrome.

Exemple 2 : Oxydation des alcools

L'allylation du phénol C₆H₅OH (alcool) par la synthèse de Williamson est un autre exemple de réaction stœchiométrique qui peut être remplacée par un processus catalytique plus efficace. Deux réactions sont mises en jeu : une en présence de la soude NaOH et la deuxième en présence d'un catalyseur. Le produit recherché est le C₆H₅OCH₂-CH=CH₂

La réaction en présence de la soude est la suivante :

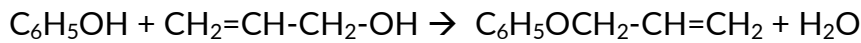


Calculons NA et E de cette réaction:

$$NA = \frac{1 * M_{C_6H_5OCH_2-CH=CH_2}}{1 * M_{C_6H_5OCH_2-CH=H_2} + 1 * M_{NaCl} + 1 * M_{H_2O}} * 100 = \frac{134}{134 + 58 + 18} * 100$$
$$= \mathbf{63,8 \%}$$

$$E = \frac{100 - 63.8}{63.8} = 0.57$$

La réaction en présence du catalyseur à base de Palladium (Pd) est la suivante :



Calculons NA et E de cette réaction:

$$NA = \frac{1 * M_{C_6H_5OCH_2-CH=CH_2}}{1 * M_{C_6H_5OCH_2-CH=H_2} + 1 * M_{H_2O}} * 100 = \frac{134}{134 + 18} * 100 = \mathbf{88 \%}$$

$$E = \frac{100 - 88}{88} = 0.14$$

De même que l'oxydation des alcools, l'utilisation d'un catalyseur a permis d'optimiser l'efficacité du procédé avec moins de sous-produits.

2. LE CHOIX DU SOLVANT

Un solvant est un liquide capable de dissoudre ou de diluer d'autres espèces chimiques sans les modifier chimiquement ni se modifier lui-même. Ils sont généralement utilisés dans la dissolution des réactifs solides mais également dans les étapes de séparation et de purification de produits.

Les solvants possèdent une grande importance dans la synthèse organique, puisqu'ils sont capables de diminuer le temps de chauffage (donc de permettre des économies d'énergie) mais aussi d'obtenir un produit plutôt qu'un autre, ou de favoriser la formation d'une conformation précise (structure dans l'espace) d'une molécule par rapports aux autres conformations possibles de la même molécule.

Mais il faut aussi savoir que ces solvants peuvent entraîner de nombreux problèmes car ils sont souvent toxiques. On a cité le cas du sulfure de carbone qu'il faut manipuler en prenant de grandes précautions quand on travaille dans un laboratoire mais, dans l'industrie chimique, en dehors des risques encourus par le personnel, ils posent un autre problème : la pollution des eaux, s'ils viennent à s'échapper du milieu réactionnel.

Suivant la composition des solvants, on distingue 2 groupes :

- Les solvants inorganiques : Ces solvants ne contiennent pas d'atomes de carbone comme par exemple l'eau, l'acide chlorhydrique HCl...

- Les solvants organiques : Ces solvants contiennent des atomes de carbone et d'hydrogène, parfois d'oxygène, de soufre...
Ils sont caractérisés par leur volatilité. La plupart de ces solvants sont nocifs pour la santé (par inhalation) et pour l'environnement (couche d'ozone) comme par exemple le benzène.

Ainsi, afin de réduire l'impact des solvants sur l'âtre vivant et l'environnement, différents axes sont envisagés :

- La réduction de la quantité de solvants utilisés
- Le choix des solvants moins nocifs ou des solvants dits verts.
- L'utilisation des solvants particuliers comme les liquides ioniques (solvants non volatils) ou les fluides supercritiques (solvants aux propriétés intermédiaires entre celles des gaz et des liquides comme le CO₂ supercritique).

IV. LA CHIMIE DOUCE

La chimie douce concerne les synthèses chimiques qui se déroulent dans des conditions proches des conditions ambiantes à température ambiante, pression atmosphérique et pH neutre... La chimie douce a deux objectifs : l'économie d'énergie et le respect de l'environnement.

Par exemple, l'emploi de catalyseurs dans les réactions chimiques permet souvent d'obtenir les produits recherchés dans des conditions de température et pression moins exigeantes que les réactions sans catalyseur. Travaillant à des températures plus basses permet d'économiser en énergies.

Mais, il n'est pas toujours possible de remplacer tous les procédés industriels classiques par des procédés de chimie douce mais la chimie douce a déjà montré son efficacité dans plusieurs domaines comme le procédé sol-gel qui permet la fabrication de verres par polymérisation inorganique à une température comprise entre 20 à 150 °C, au lieu des procédés de fusion à haute température (1 300 à 1 500 °C) utilisés habituellement.

1. UTILISATION DES AGRO-RESSOURCES

Les agro-ressources désignent aux matières premières renouvelables issues de l'agriculture. L'avantage des agro-ressources est que leurs molécules peuvent se substituer aux molécules organiques venant des ressources fossiles, pour l'élaboration de nombreux produits. On peut citer à titre d'exemple, les biocarburants, les bioplastiques, les peintures...

Dans l'emballage alimentaire par exemple, un biopolymère biodégradable est utilisé, il s'agit de l'acide polylactique (PLA).

De plus, les molécules venant des agro-ressources contribuent très légèrement à l'augmentation de l'effet de serre, car le dioxyde de carbone rejeté lors de leur dégradation correspond à celui capté par le végétal lors de la photosynthèse.

Les avancées scientifiques dans l'utilisation de certaines plantes, les technologies de transformation, les biotechnologies permettent aujourd'hui d'envisager que des produits de la chimie verte seront compétitifs et pourront remplacer ceux que l'on fabrique à partir des matières fossiles, que ce soit dans le domaine de la chimie lourde, de la chimie fine ou de l'industrie pharmaceutique.

2. LE RECYCLAGE

Le recyclage, dans l'industrie chimique, concerne deux concepts :

- L'utilisation maximale des réactifs et des catalyseurs
- La récupération de certains matériaux pour les transformer ou leur redonner une deuxième vie comme par exemple les solvants volatils usagés peuvent être régénérés par distillation.

Le recyclage contribue à la préservation de la ressource naturelle et à la réduction du volume des déchets.

Un de domaines largement concerné par le recyclage est le plastique, en particulier les bouteilles et les flacons. La mise en place du tri sélectif permet maintenant de récupérer une part importante de tous les flacons et bouteilles utilisés afin de fabriquer de nouveau des bouteilles et de flacons, des produits de jardinages, des fibres textiles...

V. LA VALORISATION DU GAZ A EFFET DE SERRE (LE DIOXYDE DE CARBONE CO₂)

Le dioxyde de carbone (CO₂) est un gaz à effet de serre qui contribue au réchauffement climatique.

La limitation des rejets de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est un enjeu primordial pour notre planète. Différentes méthodes ont été développées pour réduire son impact sur l'environnement, comme :

- Le stockage dans des gisements profonds comme par exemple des gisements épuisés de pétrole ou de gaz.
- Captation par des organismes photosynthétiques tels que des algues ou autres.

Une fois stocké, le dioxyde de carbone peut être valorisé par différentes méthodes :

1. VALORISATION SANS TRAITEMENT

En l'utilisant comme un solvant supercritique, un fluide réfrigérant ou gazéifiant des boissons.

2. VALORISATION CHIMIQUE

En faisant réagir le CO_2 avec d'autres réactifs chimiques pour former des molécules chimiques réactifs et utiles.

3. VALORISATION BIOLOGIQUE

Le dioxyde de carbone peut être utilisé pour synthétiser des produits d'intérêt, comme des biocarburants.

D'une manière générale, les différentes méthodes présentent des nombreux 'inconvenients. Ces sont des procédés très demandant en énergie, leur rendement est faible et nécessitent souvent l'utilisation de réactifs toxiques.