

CHIMIE ET RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

I. Quels sont les principes d'une chimie durable ?

▶ Le **développement durable** (doc. 1) est une synthèse entre l'économie (« produire »), le social (« répartir ») et l'environnement (« préserver »).

▶ La **chimie durable** s'inscrit dans une logique de développement durable. Sa mise en œuvre industrielle veille à l'équilibre **social, environnemental et économique** :

- économiser et partager les ressources de manière équitable ;
- utiliser des technologies qui polluent moins et consomment moins d'énergie ;
- développer des procédés suffisamment efficaces et rentables.

▶ La **chimie verte** a pour but de limiter l'impact négatif de la chimie sur l'environnement et l'homme.

▶ La **chimie du végétal** et la **chimie douce** sont des parties très importantes de la chimie verte.

La première s'oriente vers l'utilisation des matières premières végétales.

La seconde a pour ambition de synthétiser des matériaux en s'inspirant du vivant et en mettant en jeu des conditions opératoires plus « douces » (température modérée, pression atmosphérique, etc.).

La prise en compte de la globalité des processus chimiques mis en jeu lors de la synthèse d'un produit est indispensable.

La chimie verte (doc. 2) se propose d'agir sur **cinq domaines** : **les matières premières**, **les solvants**, **l'énergie**, **les déchets** et **le produit fini**.



Doc. 1 Le développement durable.



Doc. 2. Les 12 principes fondateurs de la chimie verte ont été définis en 1998 par les chimistes américains Paul ANASTAS et John WARNER.

II. Vers une chimie plus responsable

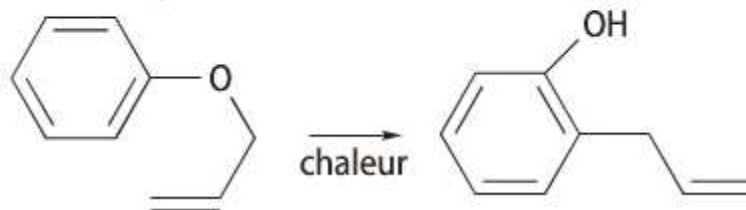
1. Economiser les atomes

Pour comparer deux procédés chimiques afin de choisir celui qui correspond au critère de durabilité, il faut calculer l'économie d'atome réalisée aussi appelée « utilisation atomique » (UA).

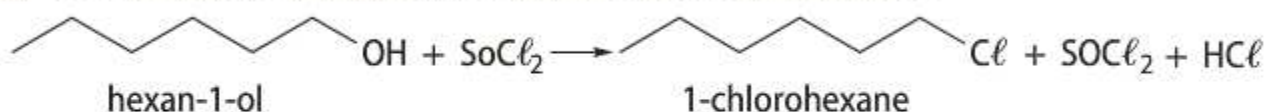
Pour cela on calcule le rapport exprimé en % entre la masse molaire du produit recherché et la somme de celle des réactifs (chaque masse molaire devant être affectée du nombre stœchiométrique correspondant)

Exemples

- Dans la réaction ci-dessous, les atomes se réarrangent au sein de la molécule. Il ne se forme aucun sous-produit : l'économie d'atome est maximale.



- Lors d'une réaction de substitution, comme la chloration d'un alcool primaire par le chlorure de thionyle, il se forme deux sous-produits.



L'économie d'atome réalisée est :

$$UA = \frac{M(1\text{-chlorohexane})}{M(\text{hexan-1-ol}) + M(\text{SOCl}_2)} = \frac{121}{102 + 118} = 55\%$$

Pour maximiser l'économie d'atome il convient de minimiser le nombre de sous produit indésirables. Ainsi selon leur type, on privilégiera certaines réactions : par exemple, les réactions d'addition permettent de réaliser une économie d'atome supérieur à celle des réactions d'élimination ou de substitution.

2. Choisir le solvant

Sélectionner les solvants les moins nocifs et en réduire les quantités permet de diminuer leur impact sur l'environnement et les hommes.

3. Economiser l'énergie

L'économie d'énergie en chimie se fait à plusieurs niveaux :

- Réaliser des réactions à basse température et en les catalysant au lieu de chauffer. Les biocatalyseurs présentent un intérêt supplémentaire du fait de leurs conditions d'utilisation particulièrement douces, car ils nécessitent, à température ambiante, un pH neutre et un milieu aqueux.

Exemple

Le « procédé sol-gel », inspiré du vivant (Fig. 2), produit du verre par un procédé original qui consiste en une polymérisation en solution aqueuse, à une température comprise entre 20 °C et 150 °C (Fig. 3).

↳ Exercices 1 à 4



Fig. 2 Les diatomées, algues unicellulaires, synthétisent des exosquelettes de silice par polymérisation en solution aqueuse.

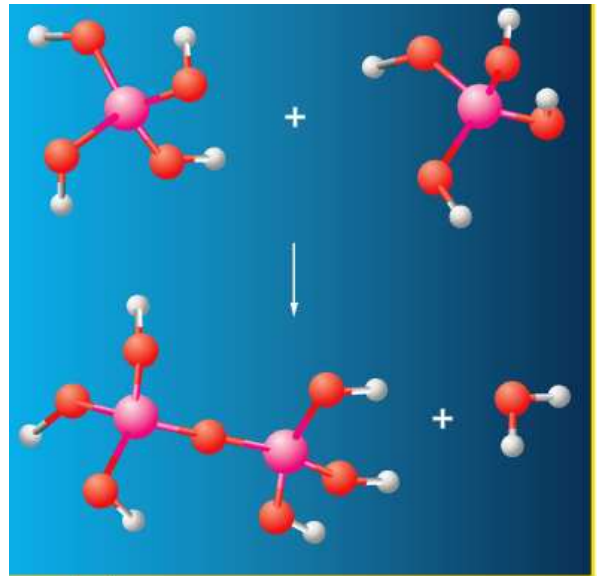


Fig. 3 La polycondensation du monomère Si(OH)₄ forme un verre.

- Eviter d'avoir des substances toxiques dans les déchets produits car leur traitement à un coût énergétique.
- Manipuler le moins de matière possible, par exemple en évitant les solvants ou en les choisissant judicieusement
- Minimiser le transport des réactifs et des produits, par exemple en traitant les minerais sur place.

III. Vers une chimie durable

1. Utiliser les agro-ressources

Les biomolécules sont extraites de ressources renouvelables comme les productions agricoles et, de façon générale, les végétaux, qui constituent les agro-ressources.

Issue de la biomasse, les biomolécules sont utilisées dans les domaines énergétiques (biodiesel, biogaz,...) et non énergétiques (synthèse de polymères, solvants,...)

Les biomolécules se substituent aux molécules organiques issues de la pétrochimie dans un bon nombre de produits courants comme les détergents, la peinture, les carburants, les plastiques...

Exemple

L'acide lactique, obtenu par fermentation de sucre ou d'amidon, peut être polymérisé en acide polylactique (PLA). Le PLA est un biopolymère biodégradable, principalement utilisé dans l'emballage alimentaire et le textile.

Les biomolécules présentent un avantage non négligeable : leur dégradation ne contribue pas à l'augmentation de l'effet de serre, le CO_2 rejeté dans l'atmosphère correspond à celui capté lors de la photosynthèse au sein du végétal.

2. valoriser le dioxyde de carbone

Le CO_2 étant le principal gaz à effet de serre, on cherche à le valoriser de façon à réduire son impact environnemental. Pour cela on va chercher à le capter, le stocker et surtout à le recycler.

Il existe à ce jour trois manières de valoriser le dioxyde de carbone :

- **l'utilisation sans transformation** en tant que fluides réfrigérants, comme additif dans les eaux gazeuses ou pour produire du café décaféiné.

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Valoriser le dioxyde de carbone

La valorisation du dioxyde de carbone représente un challenge actuel. Un usage de ce gaz comme solvant industriel d'extraction de la caféine (**Fig. 1**) a été développé, mais comment un gaz peut-il être utilisé comme solvant ?

La caféine a longtemps été extraite par le dichlorométhane, mais la toxicité maintenant reconnue de ce solvant a motivé la recherche d'un nouveau procédé. Celui qui a été développé utilise une propriété du dioxyde de carbone qui, comme de nombreux autres corps, existe dans les états solide, liquide et gaz, mais également dans un quatrième état appelé fluide supercritique (**Fig. 3**). Dans cet état peu courant obtenu pour une température supérieure à 31°C et pour une pression supérieure à 74 bar, le CO_2 extrait sélectivement la caféine. Une fois l'extraction réalisée, une faible diminution de pression permet au fluide de se transformer en gaz, laissant ainsi la caféine pure (**Fig. 2**).



Fig. 1 Formule de la caféine.

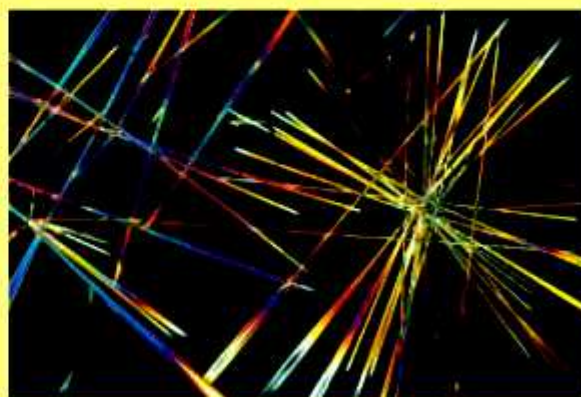


Fig. 2 Micrographie de cristaux de caféine sous lumière polarisée. Grossissement : $\times 160$.

- **La transformation chimique**, cependant l'utilisation du CO_2 comme produit de base de synthèse chimique nécessite souvent beaucoup d'énergie.
- **La transformation biologique**, comme dans le cas de la culture de micro-algues pour la production de biocarburant.

3. Economiser la matière en recyclant.

La minimisation et le recyclage des réactifs non consommés et des sous produits indésirables sont des axes essentiels de la chimie durable.