

Fiche 2 :

La chimie verte

• *L'image de la chimie s'est peu à peu dégradée dans l'opinion publique. Les catastrophes aux retombées humaines et écologiques non négligeables, en sont pour une grande part responsable.*

Pour mémoire citons :

- *La thalidomide (médicament aux conséquences désastreuses sur l'embryon).*

- *le DDT (insecticide surpuissant, ayant permis la lutte contre le paludisme mais polluant organique persistant).*

- *les catastrophes industrielles de SEVESO (Italie, 1976), BHOPAL (Inde, 1984) et de TOULOUSE (France, 2001).*

Il est donc grand temps pour la chimie d'adopter une démarche de réhabilitation, ce à quoi elle s'emploie avec la "Chimie Verte".

A : Les 12 principes de la chimie verte

• La chimie verte a pour but de limiter l'impact négatif de la chimie sur l'environnement et l'homme, en concevant des produits et des procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses. **La chimie verte se décline en 12 principes :**

1) *Prévention : prévenir et limiter la production des déchets plutôt que d'investir dans l'assainissement ou l'élimination des déchets.*

2) *L'économie d'atomes : conception de réactions chimiques dans lesquelles l'incorporation des atomes de départ est optimisée.*

3) *Synthèses chimiques moins nocives : lorsque c'est possible, utiliser et créer des substances chimiques faiblement ou non toxiques pour la santé humaine et l'environnement.*

4) *Conception de produits chimiques et de composés chimiques moins toxiques et plus sûrs.*

5) *Suppression ou réduction de substances auxiliaires telles que les solvants, les agents de séparation ; sélectionner des solvants plus sûrs.*

6) *Amélioration du rendement énergétique : amélioration du bilan énergétique par la mise au point de méthodes de synthèse dans des conditions de température et de pression ambiantes.*

7) *Utilisation de matières premières renouvelables en substitution des ressources fossiles (charbon, pétrole...).*

8) *Réduction du nombre et de la quantité de produits dérivés.*

9) *Utilisation de procédés catalytiques (accélérer une réaction chimique en abaissant sa barrière énergétique).*

10) *Conception de substances à dégradation finale non persistante : utilisation et conception de produits de dégradation non nocifs à la fin de leur durée d'utilisation.*

11) *Analyse en temps réel de la pollution : les méthodologies analytiques sont développées pour permettre une surveillance et un contrôle en temps réel et en cours de production avant l'apparition de substances dangereuses.*

12) *Développement d'une chimie plus sécuritaire : minimiser les risques d'accidents chimiques, les explosions, les incendies...*

B : Evaluation de l'efficacité d'un procédé de synthèse

- L'efficacité d'un procédé de synthèse est généralement évaluée par le rendement chimique, sans tenir compte de la quantité de sous-produits formés.

$$r = \frac{\text{masse produit obtenu expérimentalement}}{\text{masse produit théorique}} \times 100$$

↳ Dans l'optique d'une réduction de la pollution à la source, la chimie verte propose une évolution du concept d'efficacité en prenant en compte la minimisation de la quantité de déchets.

Soit une réaction représentée par : $a \mathbf{A} + b \mathbf{B} \rightarrow p \mathbf{P} + q \mathbf{Q}$

- **A** et **B** sont deux réactifs
- **P** est le produit principal
- **Q** est un sous-produit

►► L'économie d'atomes EA

- L'indicateur de l'efficacité d'un procédé peut être défini par son **utilisation atomique (UA)** ou **économie d'atomes (EA)**

L'économie d'atomes est définie comme le rapport de la masse de produit (P) sur la somme des masses des réactifs engagés dans la réaction :

$$EA = \frac{m_P}{m_A + m_B} \times 100$$

On peut montrer que l'on a alors :

$$EA = \frac{p \times M(P)}{a \times M(A) + b \times M(B)} \times 100$$

Plus l'économie d'atomes EA est élevée, meilleure est la réaction de synthèse pour l'environnement

►► Facteur environnemental molaire EM

- Le facteur environnemental molaire (**EM**) est une autre façon de chiffrer l'efficacité environnementale d'une réaction en s'intéressant aux déchets produits.

C'est le rapport théorique de la masse des "déchets" sur la masse du produit désiré, engagés dans la

réaction :

$$EA = \frac{m_Q}{m_P} \times 100 = \frac{m_A + m_B - m_P}{m_P}$$

On peut montrer que l'on a alors :

$$EM = \frac{q \times M(Q)}{p \times M(P)} \times 100 = \frac{a \times M(A) + b \times M(B) - p \times M(P)}{p \times M(P)} \times 100$$

Plus le facteur environnemental est faible, meilleure est la réaction de synthèse pour l'environnement.

Il est capital de noter que le procédé vert n'est pas seulement un procédé moins polluant, il permet également au fabricant de réduire ses dépenses grâce à :

- la diminution de la quantité de déchets (donc des frais de retraitement).
- la diminution du nombre d'étapes qui entraîne d'une part une réduction des coûts de séparation et de purification, et d'autre part une augmentation de la capacité de production puisque la synthèse prend désormais moins de temps.

Les procédés verts sont donc conçus pour être à la fois respectueux de l'environnement et économiquement viables. En effet, la rentabilité du procédé est un prérequis indispensable dans le monde industriel.

Applications

EX1/ Synthèse de l'ibuprofène

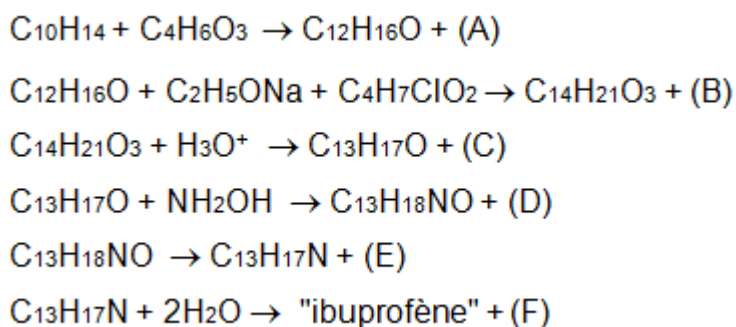
• L'ibuprofène $C_{13}H_{18}O_2$ est un analgésique et un anti-inflammatoire au même titre que l'aspirine. La molécule a été découverte par la société Boots dans les années 1960 et cette société a breveté une **synthèse** qui a longtemps été la méthode de choix pour la production industrielle. Cette synthèse a permis de produire annuellement des milliers de tonnes d'ibuprofène mais elle s'est accompagnée de la formation d'une quantité encore plus importante de sous-produits non utilisés et non recyclés qu'il a fallu détruire ou retraiter.

Dans les années 1990, la société BHC a mis au point un procédé « vert », c'est à dire reposant sur les principes de la chimie verte : une chimie qui réduit la pollution à la source et qui est plus respectueuse de l'environnement. La nouvelle voie de synthèse est beaucoup plus efficace que la voie traditionnelle : la quantité de sous-produit est considérablement réduite, de plus l'unique sous-produit formé est valorisé.

La synthèse de l'ibuprofène par le procédé BOOTS

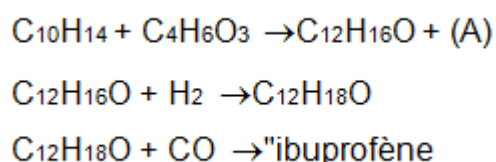
Les 6 étapes suivantes permettent d'obtenir l'ibuprofène.

Les réactifs utilisés donnent des produits secondaires qu'il faut recycler.



La synthèse de l'ibuprofène par le procédé BHC

Ce procédé met en jeu 3 étapes, en faisant appel à des réactions catalysées.



1) Etablir :

- l'équation de la réaction traduisant la somme des 6 étapes du procédé BOOTS
- l'équation de la réaction traduisant la somme des 3 étapes du procédé BHC :

2) Calculer l'économie d'atomes EA de chacune des réactions précédentes lors de la synthèse de l'ibuprofène

3) Calculer le facteur environnemental de chacune des réactions précédentes.

4) Quelle est la réaction qui respecte le plus le 2nd principe de la chimie verte sur l'économie d'atomes ?

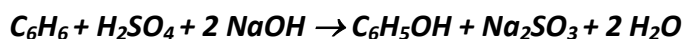
EX2/ Synthèse du phénol

Le phénol C_6H_5OH est un intermédiaire de synthèse de nombreux produits chimiques comme l'aspirine. Jadis, le phénol était préparé par distillation du goudron de houille. Cette méthode a été abandonnée car l'énergie nécessaire était trop importante.

Le procédé BASF

En 1899, le groupe BASF met au point la synthèse du phénol par sulfonation du benzène C_6H_6 .

Ce procédé comporte plusieurs étapes, mais on peut néanmoins écrire le bilan global de la réaction :



La faible économie d'atomes due à une forte production de déchets demeure son principal inconvénient.

Le procédé est abandonné dans les années 1960.

Le procédé HOCK

Aujourd'hui, plus de 90 % de la production de phénol est basée sur l'oxydation du cumène, lui-même obtenu à partir du benzène.

Ce procédé, dit « HOCK », est essentiellement catalytique. La réaction se déroule en trois étapes :

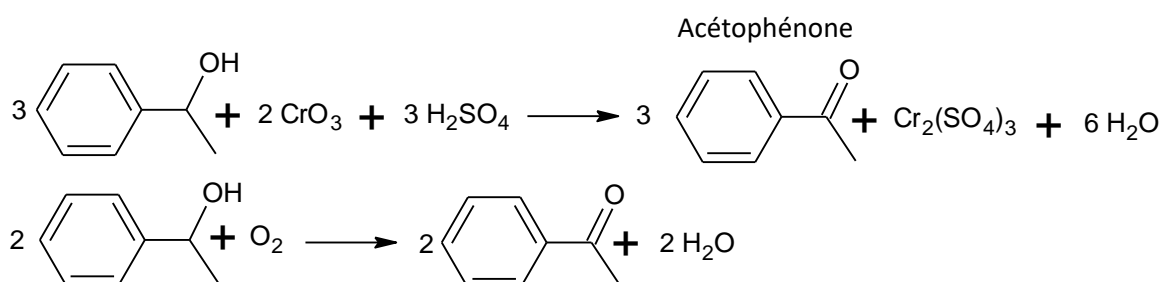
Le bilan de la réaction peut s'écrire :



- 1) Calculer l'économie d'atomes EA et le facteur environnemental de chacune des réactions précédentes lors de la synthèse du phénol
- 2) Quelle est la réaction qui respecte le plus le 2nd principe de la chimie verte sur l'économie d'atomes ?

EX3/ Synthèse de l'acétophénone

L'acétophénone peut s'obtenir à partir de deux réactions de synthèse :



- 1) Calculer l'économie d'atomes EA et le facteur environnemental de chacune des réactions précédentes lors de la synthèse de l'acétophénone
- 2) Quelle est la réaction qui respecte le plus le 2nd principe de la chimie verte sur l'économie d'atomes ?