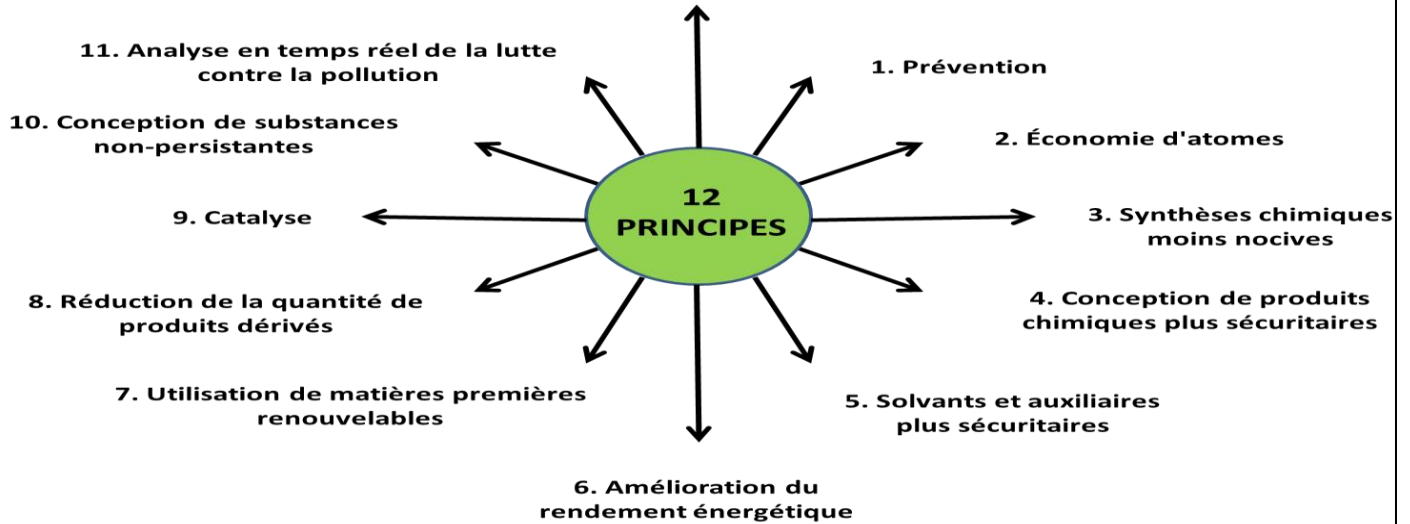


**Document 1 : CHIMIE VERTE les 12 principes de base**

Les 12 principes de la chimie verte ont été développés à l'origine par des ex agents de la EPA ( l'agence américaine de protection de l'environnement ), Paul Anastas et John Warner, dans **Green Chemistry: Theory and Practice**. Ces principes tracent la feuille de route pour les chimistes en vue d'instaurer une logique chimie verte dans leurs actions.

12. Chimie essentiellement sécuritaire  
afin de prévenir les accidents



N° ?	description
	les synthèses doivent être conçues dans le but de maximiser l'incorporation des matériaux utilisés au cours du procédé dans le produit final.
	lorsque c'est possible, il faut supprimer l'utilisation de substances auxiliaires (solvants, agents de séparation...) ou utiliser des substances inoffensives.
	les besoins énergétiques des procédés chimiques ont des répercussions sur l'économie et l'environnement dont il faut tenir compte et qu'il faut minimiser. Il faut mettre au point des méthodes de synthèse dans les conditions de température et de pression ambiantes.
	les méthodes de synthèse doivent être conçues pour utiliser et créer des substances faiblement ou non toxiques pour les humains et sans conséquences sur l'environnement.
	les réactifs catalytiques sont plus efficaces que les réactifs stœchiométriques. Il faut favoriser l'utilisation de réactifs catalytiques les plus sélectifs possibles.
	il vaut mieux produire moins de déchets qu'investir dans l'assainissement ou l'élimination des déchets.
	les produits chimiques doivent être conçus de manière à remplir leur fonction primaire tout en minimisant leur toxicité.
	lorsque la technologie et les moyens financiers le permettent, les matières premières utilisées doivent être renouvelables plutôt que non-renouvelables.
	les substances et la forme des substances utilisées dans un procédé chimique doivent être choisies de façon à minimiser les risques d'accidents chimiques incluant les rejets, les explosions et les incendies.
	des méthodologies analytiques doivent être élaborées afin de permettre une surveillance et un contrôle en temps réel et en cours de production avant qu'il y ait apparition de substances dangereuses.
	les produits chimiques doivent être conçus de façon à pouvoir se dissocier en produits de dégradation non nocifs, cela dans le but d'éviter leur persistance dans l'environnement.
	lorsque c'est possible, toute déviation inutile du schéma de synthèse (utilisation d'agents bloquants, protection/déprotection, modification temporaire du procédé physique/chimique) doit être réduite ou éliminée.

**L'économie d'atomes**

**Objectif:**

- Maximiser le nombre d'atomes de réactifs transformés en produit au cours de la synthèse
- Réduire la quantité de résidus de réaction voir les supprimer

- **En chimie conventionnelle:**

**Recherche du rendement maximum**

$$\text{Rdt} = \frac{\text{Poids de produit obtenu}}{\text{Poids de produit théorique}} \times 100$$

- **En chimie verte:**

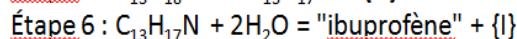
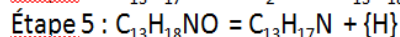
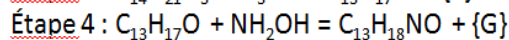
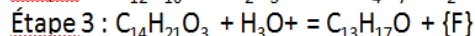
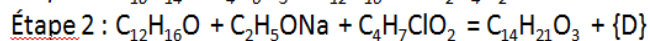
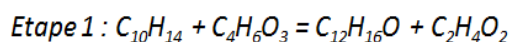
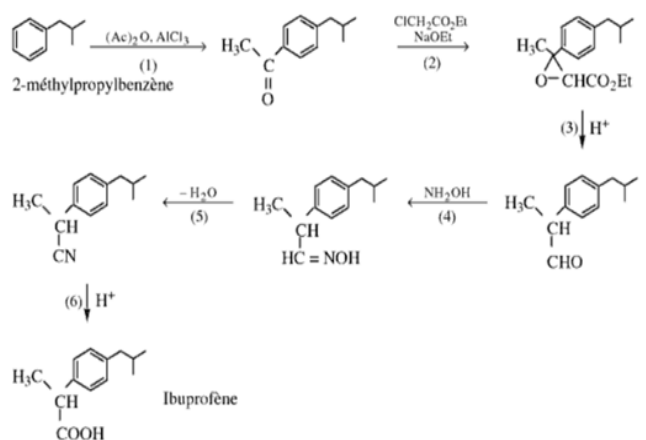
**Concept d'économie d'atome ou utilisation atomique**

$$\text{Utilisation Atomique} = \frac{M(\text{produit désiré})}{\sum_i M(\text{produit } i)} \times 100 \% = \frac{M(\text{produit désiré})}{\sum_j M(\text{réactif } j)} \times 100 \%$$

## DOCUMENT 2 : IBUPROFENE

### PROCEDES DE PRODUCTION DE L'IBUPROFENE

La molécule a été découverte par la société Boots Pure Drug Company dans les années 1960 et cette société a breveté une synthèse qui a longtemps été la méthode de choix pour la production industrielle et qui nécessite 6 étapes (cf. Figure 3 ; Demirdjian, 2005) :



Dans les années 1990, la société BHC (actuellement BASF) a mis au point un procédé mettant en avant la sélectivité de la réaction, diminution des déchets (récupération et recyclage des déchets de sous-produit du processus de fabrication...). Cette synthèse est effectuée en 3 étapes (au lieu de 6 étapes pour le procédé précédemment employé) (cf. Figure 4 ; Demirdjian, 2005). Cette synthèse améliorée a remporté le « Presidential Green Chemistry Challenge » en 1997<sup>6</sup>.

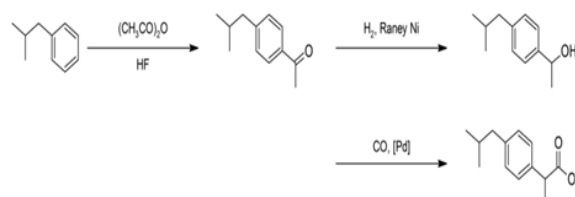
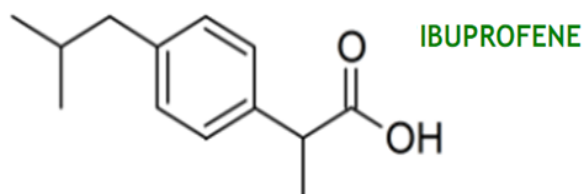
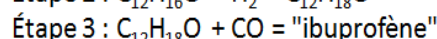
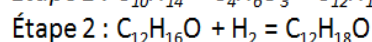
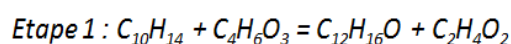


Figure 4. Synthèse de l'ibuprofène selon BHC (actuellement BASF).



- Faire correspondre les numéros du diagramme des principes de la chimie verte avec les données du tableau (document 1)
- Donner la formule brute de l'ibuprofène et calculer sa masse molaire
- L'utilisation atomique correspond au rapport de la masse molaire du produit recherché sur la somme des masses molaires de tous les produits qui apparaissent dans l'équation stoechiométrique. Si les sous-produits de la réaction ne sont pas tous identifiés, alors la conservation de la matière permet de remplacer le dénominateur par la somme des masses molaires de tous les réactifs. Dans la **synthèse BOOTS**, les sous-produits ont été remplacés au niveau des différentes étapes par : {D}, {F}, {G}, {H}, {I} (document 2)
  - Etablir l'équation de la réaction traduisant la somme des 6 étapes
  - Evaluer la somme des masses molaires de tous les réactifs (masses molaires N = 14,0 g.mol<sup>-1</sup> Na = 23,0 g.mol<sup>-1</sup> Cl = 35,5 g.mol<sup>-1</sup> MO = 16,0 g.mol<sup>-1</sup> H = 1,00 g.mol<sup>-1</sup> C = 12,0 g.mol<sup>-1</sup>)
  - En déduire en pourcentage l'UA de ce procédé
- Procédé BHC**. Ce procédé met en jeu 3 étapes, en faisant appel à des réactions catalysées.
  - Rappeler ce qu'est un catalyseur
  - En procédant comme pour le procédé BOOTS, évaluer le pourcentage d'utilisation atomique du procédé BHC.
  - Comparer les 2 procédés relativement à la charte de la chimie verte
- Le facteur E** comme "Effluent" ou "Déchet". peut être défini comme étant le rapport de la masse de tous les déchets et sous produits par la masse de produit désiré donc le E-facteur est la mesure de la quantité de déchets produits pour fabriquer un produit donné comparé à la quantité de ce même produit final (utilisable).
  - Montrer que la relation liant le pourcentage d'utilisation atomique (%U.A.) au facteur E est donné par :  $E = (1 - UA) / UA$ .
  - Calculer E1 et E2 pour les 2 réactions précédentes.
- « Pour le procédé BOOTS, Pour former 13 000 tonnes d'ibuprofène, on produit 20 000 t de déchets. Pour le procédé HBC : Pour former 13 000 tonnes, on produit 4 000 t de sous produits valorisés par leur utilisation dans les peintures. » Retrouve-t-on les résultats (Utilisation atomique et facteur E) trouvées précédemment. Quel autre avantage trouve-t-on dans le deuxième procédé en accord avec quels principes de la chimie verte ?