

LC04 – CHIMIE DURABLE

9 février 2019

*Est-ce qu'il est urgent de sauver la planète ? Je dis, non.
C'est trop tard.*

Zakarya Ouzit & Victor Dansage

LAMBERT WILSON

Niveau : Lycée

Bibliographie

- | | |
|---|------------------------------------|
| ✦ <i>TS Hachette</i> , Dulaurans, Duruphty | → Applications |
| ✦ <i>TS Microméga</i> , JFLM | → Activité documentaire Ibuprofène |
| ✦ <i>Chimie verte Chimie durable</i> , Antoniotti | → Tout |
| ✦ <i>Manipulations commentées de chimie organique</i> , Drouin | → Synthèse de la chalcone |
| ✦ <i>Florilège de chimie pratique</i> , Daumarie | → Synthèse ester de poire |
| ✦ <i>La substitution des solvants par les esters méthyliques d'acides gras d'huiles végétales B-079¹</i> , Diallo, Bégin, Gérin | → EMAG |

Prérequis

- Titrage colorimétrique
- Solvants
- Fonctions organiques

Expériences

- ☞ Synthèse d'une chalcone sans solvant
- ☞ Synthèse d'un ester de poire au four à micro-ondes

Table des matières

1	Introduction	2
2	Choix des réactifs	2
2.1	Utilisation de ressources renouvelables	2
2.2	Choix des solvants de réaction	3
3	Optimisation des procédés	3
3.1	Chimie douce	3
3.2	Maximiser le rendement	4
3.3	Économie d'atomes	4
4	Gestion des déchets	5
4.1	Matériaux biodégradables, recyclables	5
4.2	Valorisation des déchets	5
5	Conclusion	6
6	Questions	6

1. <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/B-079.pdf>

Introduction

La chimie est la science qui étudie la structure, les propriétés et les transformations de la matière. La révolution industrielle du XIX siècle a vu apparaître la chimie industrielle dont l'objectif est de fournir aux Hommes les matériaux et substances dont ils ont besoin à partir de matières premières prélevées dans la nature.

À la suite de prises de conscience écologiques depuis la fin du XX siècle, un nouveau modèle de développement a été pensé sur le long terme : le développement durable qui inclut les composantes sociales, économique et environnementale. Par suite la chimie s'inscrit dans ce nouveau modèle à travers ce que l'on appelle la chimie durable, aussi appelé chimie verte : **Répondre au besoin du présent sans compromettre les besoins des générations futures** (cf. *Green chemistry theory and practice* de Anastas et Warner), développé en 1998 et où sont énoncés 12 principes sur lesquels reposent la chimie durable.

1. Il est préférable d'éviter la formation de déchets plutôt que de les traiter ou de dépolluer une fois qu'ils sont formés.
2. Les méthodes de synthèse doivent être conçues de façon à maximiser l'incorporation de toutes les substances utilisées au cours du procédé dans le produit final.
3. Concevoir des synthèses chimiques faisant appel à des réactifs et conduisant à des produits les moins dangereux possibles pour l'humanité et pour l'environnement.
4. Concevoir des produits chimiques moins toxiques à propriétés égales (ou meilleures).
5. Limiter l'utilisation et la dangerosité des substances chimiques auxiliaires.
6. Minimiser la dépense énergétique.
7. Quand c'est techniquement et économiquement réalisable, il faut utiliser des matières premières renouvelables plutôt qu'épuisables.
8. Éviter d'utiliser des groupements temporaires tels que des groupements protecteurs, activateurs, auxiliaires chiraux ou autres.
9. Utiliser des catalyseurs sélectifs plutôt que des réactifs stoechiométriques.
10. Concevoir des produits chimiques qui se dégradent après utilisation.
11. Analyser en continu pour éviter la pollution inutile.
12. Limiter les risques d'accident.

Nous allons illustrer au cours de cette leçon les principes de la chimie durables, que nous détaillerons au fur et à mesure dans un souci de clarté en faisant le lien avec les pratiques adoptées en TP de chimie.

Choix des réactifs

Utilisation de ressources renouvelables

Les ressources renouvelables sont des ressources reconstituées sur des durées du même ordre de grandeur que celui sur lequel elles sont consommées donc à l'échelle humaine. Il s'agit par conséquent de ressources biosourcées, issues des êtres vivants à croissance rapide comme les bactéries, les végétaux ou les algues.

Exemple :

- Sacs plastiques en amidon
- Biocarburants

Principes concernés

- 7

Précautions

- Ne pas entrer en concurrence avec la culture alimentaire (pour ne consommer que du biocarburant, il faudrait cultiver du colza sur 120% du territoire en France, cf. différente génération de biocarburants)
- Ne pas nuire à l'environnement par une production intensive (utilisation eau, engrais)

Choix des solvants de réaction

L'utilisation de solvants organiques représente potentiellement une source de pollution. Ils ont généralement une pression de vapeur saturante élevée donc à l'équilibre une grande partie du solvant est sous forme gazeuse et en système ouvert l'équilibre n'est jamais atteint et tout le solvant va finir par se vaporiser dans l'environnement (risque de fuite sous forme gazeuse).

Ces solvants organiques sont généralement toxiques (apporter bouteille toluène, dichlorométhane, ether diéthylique pour montrer les pictogrammes)

- 35% des COVs libérés dans l'atmosphère sont des solvants²
- 80 à 90% des déchets générés par l'industrie pharmaceutique proviennent du solvant utilisé
- l'utilisation de solvant est responsable de la moitié des émissions de gaz à effet de serre

Une alternative à l'usage de ces solvant est l'utilisation des esters méthyliques d'acides gras (EMAG) qui sont déjà utilisés dans la composition de biocarburants mais également comme solvants remplaçant par exemple le benzène ou le toluène (Salehpour et Coll pour polymérisation du styrène) et dans certaines entreprises (formulation béton, bitume, encre pour l'imprimerie offset).

Précautions

- Ne pas entrer en concurrence avec la culture alimentaire (pour ne consommer que du biocarburant, il faudrait cultiver du colza sur 120% du territoire en France, cf. différente génération de biocarburants)
- Ne pas nuire à l'environnement par une production intensive (utilisation eau, engrais)

Mieux : Pas de solvant du tout



Synthèse d'une chalcone sans solvant

🔗 Drouin p.330

⌚ 8 min

- Matériel : mortier + pilon, montage recristallisation, banc köfler, filtration sous buchner
- Produits : 4-methoxybenzaldehyde, 4'-methylacetophenone, hydroxide de sodium solide, ether, ethanol 95%
- En préparation : synthèse de la chalcone (ne pas s'arrêter trop tôt sinon substance "pâteuse"), lancer recristallisation, mesure de T_{fus} avant recristallisation du produit brut
- En direct : T_{fus} produit purifié

Principes concernés

- 3, 4, 5, 7, 12



Le choix des solvants est un premier pas vers ...

Optimisation des procédés

Chimie douce

La chimie douce est une forme de chimie inspirée du vivant qui regroupe en son sein plusieurs pratiques plus anciennes sous un même label. Elle s'inspire du vivant dans la mesure où elle met en jeu des conditions opératoires peu coûteuses en énergie.

2. <http://culturesciences.chimie.ens.fr/node/1283>

Les "bonnes pratiques" de la chimie douce :

- Chauffer moins et moins longtemps
- Travailler avec de basses pressions
- Catalyser les réactions

Principes concernés

- 5, 6, 9, 12

Maximiser le rendement

Le rendement est définie comme le rapport de quantité de matière "utile" obtenue et de la quantité de matière maximale que l'on pourrait obtenir pour une réaction quantitative : $\eta = \frac{n_{obtenue}}{n_{max}}$



Synthèse de l'ester de poire au four à micro-ondes

🔗 Daumarie p.13

⌚ 5 min

- Matériel : four à micro-ondes, pH-mètre, electrode de verre + ECS
- Produits : acide éthanoïque glacial, 3-methylbutanol, sulfate de cuivre anhydre (pour verifier l'absence d'eau)
- En préparation : préparation des réactifs séparément, réaction, le four à micro-ondes est utilisé pour chauffer le mélange réactionnel est déplacer l'équilibre par évaporation de l'eau et donc maximiser le rendement (attention à ne pas brûler le produit)
- En direct : mise en évidence de l'ester de poire, odeur caractéristique, puis titrage de l'acide éthanoïque restant pour déterminer le rendement virage compatible avec phenolphthaléine (mais mise en garde sur son utilisation). Attention il y a aussi l'acide sulfurique comme catalyseur qu'il faut titrer en préparation par pH-métrie mais on peut le négliger (ordre de grandeur facteur 100 en quantité de matière).

Principes concernés

- 2, 6

Économie d'atomes

C'est une idée de la chimie durable apportée par Trost en 1991 qui vise à maximiser la conservation des atomes des réactifs dans les produits "utiles" et donc à réduire le nombre de sous produit inutile. Il s'agit donc d'efficacité.



Analyse documentaire Ibuprofène

🔗 TS Microméga p.429, JFLM

⌚ 5 min

L'ibuprofène pèse $13 \cdot 10^3$ t par an, il convient alors d'optimiser sa fabrication. Deux procédés existent, Boots et BHC. Réaliser l'analyse documentaire à la flexcam³.

Conclusion

Nous avons vu au cours de cette leçon qu'il était important de faire évoluer la chimie vers une chimie durable et que cette évolution concerne tous les niveaux de la réaction (réactifs, procédés, produits) et toutes les échelles (du laboratoire à l'industrie). Bien sûr, les techniques de la chimie durables ne sont pas immuables et sont en évolution avec les avancées apportées en matière de toxicité, de traitement des déchets et motive la recherche de nouveaux procédés, permettant une économie d'atomes, de valorisation des déchets et de meilleurs rendements.

Questions

- Dates des 12 principes ?
- Bioplastiques c'est quoi finalement ?
- Formule chimique EMAG ?
- Nom des réactifs de la réaction sans solvant ? Nom de la réaction ? Role de la soude ? Comment montrer sa régénération ?
- Etalonnage du Kofler ? Nettoyage après étalonnage ?
- Nom de l'alcool dans la réaction d'estérification ? Vous titrez quoi ? Équation de titrage ? Nom du produit ?
- Différence entre simple/double flèche, et signe égale ? Caractéristique réaction de titrage ?
- Mécanisme esterification ? Caractéristique thermique ? Pourquoi légèrement exothermique ? Comment faire la réaction autrement ? Le microonde ça marche toujours ? Classiquement on utilise quoi ? Qu'est-ce qu'on peut utiliser à la place de l'acide pour améliorer le rendement ?
- L'économie d'atome privilégie quel type de réaction ? Les additions
- Différence chimie verte et chimie durable ?
- Niveau de la leçon ? Idée de sortie scolaire ? Comment se passe une sortie scolaire ? C'est obligatoire ?
- Comment on trie les déchets au lycée ? On jette tous les métaux dans le bidon bleu ? On en fait quoi des bidons ?