

LC: Synthèse et environnement (1er SPCL)

Léa Bessonart

January 28, 2022

Niveau: SPCL

Pré-requis: Equation de réaction, Fonction chimique, Synthèse organique, catalyseur Sources: Chimie verte, chimie durable

Synthèses chimiques

Notions et contenus	Capacités		
Synthèses et environnement Analyse de l'impact environnemental d'une synthèse. Chimie « verte », Chimie douce.	- Citer les exigences en matière de chimie « verte » ou durable, en ce qui concerne les choix des matières premières, des réactions et des procédés, ainsi que d'éco-compatibilité du produit formé. - Comparer les avantages et les inconvénients de différents procédés de synthèse. - Réaliser l'extraction d'une espèce naturelle et mettre en œuvre une hémisynthèse à partir de cette espèce. - Reconnaître une hémisynthèse dans la description d'un protocole. - Citer quelques utilisations importantes des agroressources en		
	<table><tr><td>Alternative à la pétrochimie : chimie des substances naturelles (agroressources et hémisynthèses), synthèses biotechnologiques.</td><td>synthèse organique et exploiter des documents pour illustrer leur part croissante en tant que matières premières. - Citer quelques exemples importants de synthèses mettant en œuvre les biotechnologies.</td></tr></table>	Alternative à la pétrochimie : chimie des substances naturelles (agroressources et hémisynthèses), synthèses biotechnologiques.	synthèse organique et exploiter des documents pour illustrer leur part croissante en tant que matières premières. - Citer quelques exemples importants de synthèses mettant en œuvre les biotechnologies.
Alternative à la pétrochimie : chimie des substances naturelles (agroressources et hémisynthèses), synthèses biotechnologiques.	synthèse organique et exploiter des documents pour illustrer leur part croissante en tant que matières premières. - Citer quelques exemples importants de synthèses mettant en œuvre les biotechnologies.		

Introduction pédagogique

Le but de cette leçon est sensibiliser l'élève à la notion de chimie verte. Il devra être capable en fin de cours de comparer deux synthèses et d'en donner la plus respectueuse de l'environnement. Il devra comprendre le choix responsable des matières premières. Pour cela il apprendra et réalisera une hémisynthèse d'un composé naturel mais également il sera capable de donner des exemples d'utilisation des agroressources ainsi que des biotechnologies en synthèse organique.

Pour cela on estimera qu'il est capable d'écrire et comprendre une équation de réaction, mais également de connaître les fonctions chimiques, de connaître la notion de synthèse organique ainsi que celle de catalyser.

Ce cours fera donc suite à un premier cours général sur la synthèse organique. On le placera en fin d'année afin que ce cours face une sorte de bilan de l'année de chimie.

Introduction

Au XIX^{ème} siècle la chimie organique et la pharmacie ont donné lieu à la naissance de la chimie industrielle, déjà destinée à fournir des biens de consommations courantes (colorants, parfums, aspirine...) jouant ainsi un rôle important dans la révolution industrielle.

Aujourd'hui, l'industrie chimique utilise majoritairement des dérivées pétrochimique pour fabriquer les substances de base ou les produits finis destinés à des domaines aussi variés que la pharmacie, les cosmétiques, l'agro-alimentaire, le bâtiment ou encore l'énergie.

Ces procédés ont une influence négative sur l'environnement. Il est donc nécessaire de concevoir de nouvelles façons de mettre en œuvre les réactions dont l'industrie a besoin pour nous proposer des biens dont nous ne saurions nous passer. Il est fondamental de développer des procédés plus sûrs et moins polluants pour éviter certaines catastrophes, par exemple les boues rouges en Méditerranée).

Nous commencerons ce cours par donner les enjeux de la chimie verte puis nous traiterons l'importance du choix des matières premières.

1 Les enjeux de la chimie verte

Définition de Chimie verte : (définition énoncée par Anastas en 1991) : prévention de la pollution en concevant les produits et les procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer à la source l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses.

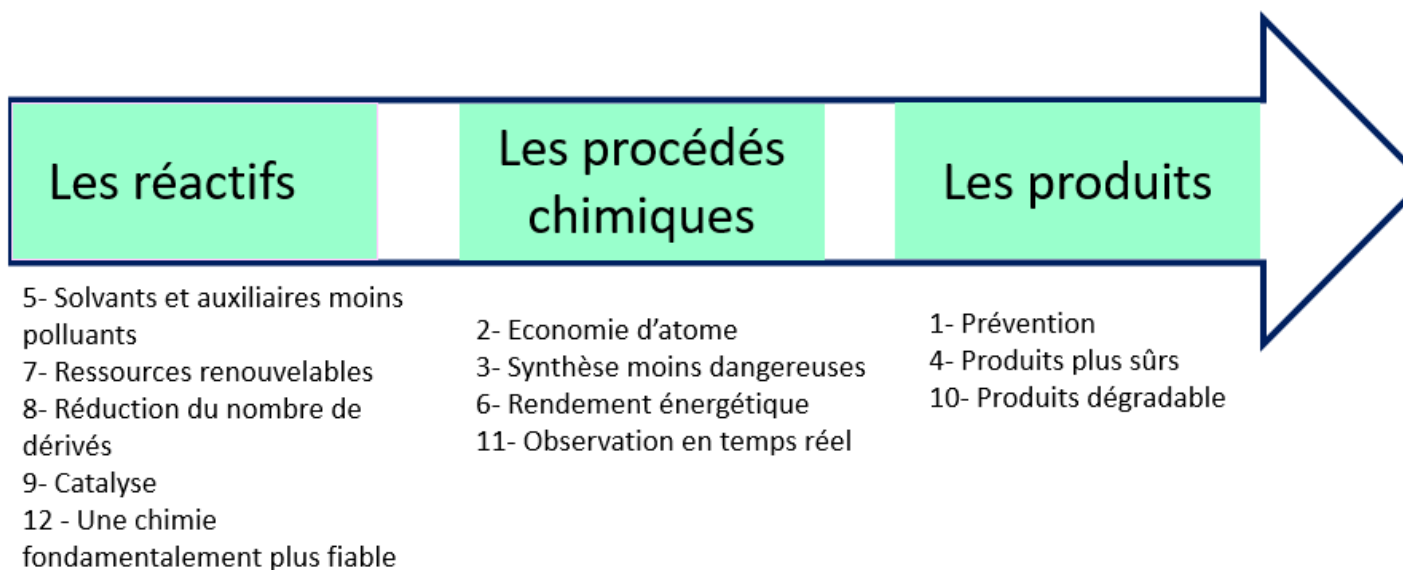
L'industrie chimique est parfois considérée comme peu respectueuse de la nature. Elle est pourtant en mutation. L'industrie utilise de plus en plus le végétal afin de respecter davantage l'environnement. Elle adopter une démarche de réhabilitation, ce à quoi elle s'emploie avec la "Chimie Verte"

Doit-on parler de chimie verte ou de chimie durable ? Ces deux termes ne sont pas synonymes car la chimie verte est une sous-catégorie de la chimie durable. Le concepts de chimie verte est utilisé pour la première fois en 1991 par Paul Anastas et John Warner. Ils proposent douze principes de la chimie verte, afin de donner des lignes directrices pour les chimistes et faire en sorte de réduire les risques et la pollution. Plus une synthèse respecte de principes, plus elle pourra être considérée comme verte.

1.1 Les douze principes de la chimie verte

La chimie verte se décline en 12 principes. On peut les classer en trois grandes catégorie : Ceux qui concernent les réactifs , ceux qui concerne les procédés chimiques directement et ceux qui concerne les produits.

Nous allons tenter de les classer ensembles :



- 1. Prévention : Il est préférable d'éviter la formation des déchets plutôt que des les traiter ou de dépolluer une fois qu'ils sont formés
- 2. Économie d'atomes : 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. On parle d'économie d'atome.
- 3. Concevoir des synthèses chimiques faisant appel à des réactifs et conduisant à des produits les moins dangereux possible pour l'humanité et l'environnement
- 4. Concevoir des produits chimiques moins toxiques à propriétés égales (ou meilleurs)
- 5. Limiter l'utilisation et la dangerosité des substances chimiques auxiliaires, telles que les solvants, les agents de séparation

- 6. Minimiser la dépense énergétiques, autrement dit 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. quand c'est techniquement et économiquement réalisable, il faut utiliser des matières premières renouvelables, en substitution des ressources fossiles (charbon, pétrole. . .).
- 8. Éviter d'utiliser des groupements temporaires tels que des groupements protecteurs.
- 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'accidents

1.2 Évaluation de l'efficacité d'un procédé de synthèse

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 pré-requis indispensable dans le monde industriel.

Nous allons voir trois moyens de chiffrer l'efficacité d'une synthèse, c'est à dire des indicateurs de chimie verte.

1.2.1 Le rendement

L'efficacité d'un procédé de synthèse est généralement évaluée par le rendement chimique. Il ne tient cependant pas compte des sous produits ni de la méthode en elle même.

Elle donne seulement:

$$r = \frac{\text{masse produit obtenu expérimentalement}}{\text{masse produit théorique}} \times 100 \quad (1)$$

Nous donnerons une application un peu plus tard dans le cours.

1.2.2 Économie d'atomes

C'est un indicateur quantifiant le nombre d'atomes présents dans les réactifs et se retrouvant dans le produit d'intérêt. Les autres sont considérés comme "perdus" :

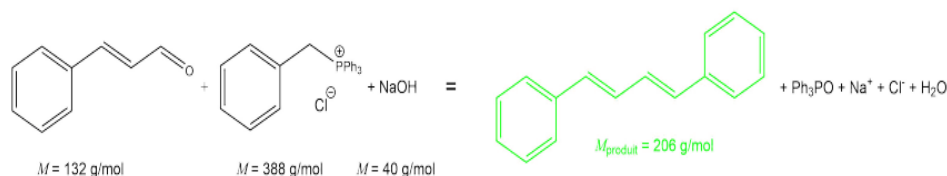
C'est la grandeur définie comme le rapport pondéré de la masse molaire du produit d'intérêt sur la somme des masses molaires des réactifs :

$$EA = \frac{\nu_{\text{Produit}} M_{\text{produit}}}{\sum \nu_i M_i} \times 100 \quad (2)$$

ν_{produit} et ν_i étant respectivement les nombres stoechiométriques du produit d'intérêt et des réactifs)

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

Prenons l'exemple suivant (Réaction de Wittig):



On peut calculer l'économie d'atomes pour cette réaction:

$$EA = \frac{206}{132 + 388 + 40} \times 100 = 37\% \quad (3)$$

Cette synthèse a une mauvaise économie d'atomes, malgré le fait que les réactifs et sous-produits utilisés ne soient pas très dangereux et que la synthèse soit faite dans l'eau. Cela est dû au fait que l'on élimine des atomes assez lourd (P, Na et Cl) dans les sous-produits.

1.2.3 Facteur environnemental de Sheldon

Le facteur environnemental de Sheldon indicateur de la proportion de déchets produits par le procédé par rapport au produit d'intérêt.

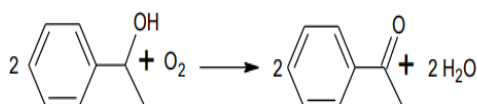
C'est le rapport théorique de la masse molaire des "déchets" sur la masse molaire du produit désiré, engagés dans la réaction.

$$EM = \frac{\sum_{\text{déchets}} \nu_i M_i}{\nu_{\text{Produit}} M_{\text{produit}}} \times 100 \quad (4)$$

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

On considère comme déchets tout ce qui n'est pas recyclé ou utilisé pour une autre synthèse. On pourrait ne pas prendre en compte l'eau.

Exemple de la synthèse de l'acétophénone



$$E = \frac{2 * 18}{2 * 120} \times 100 = 15\% \quad (5)$$

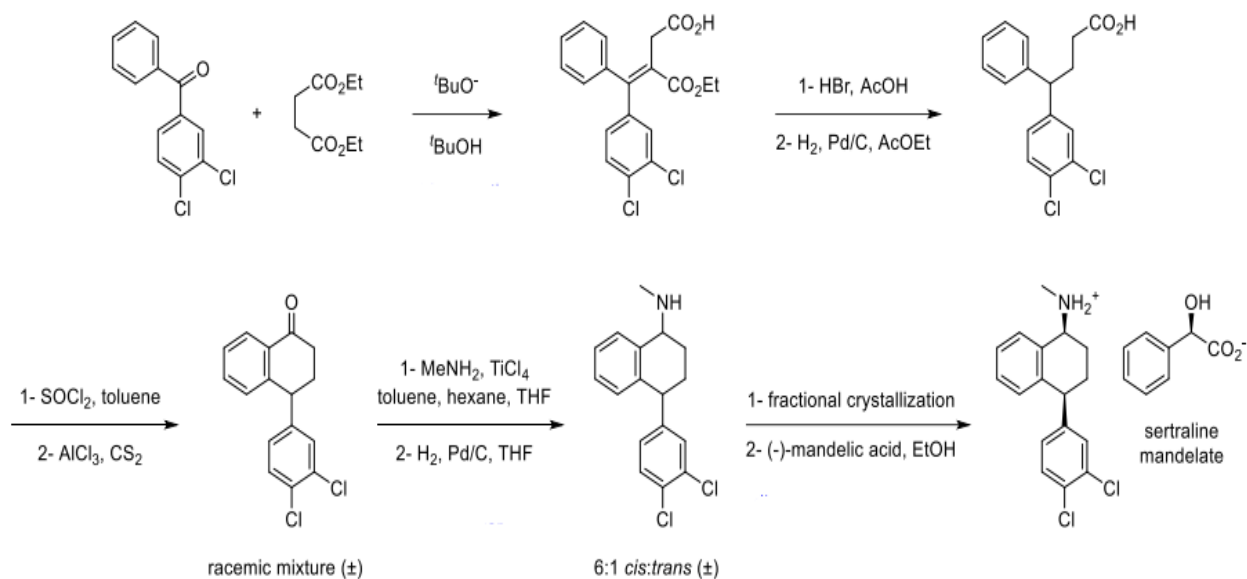
Ce synthèse à un bon facteur environnemental, d'autant plus que le déchet est de l'eau. Si l'eau est recyclée, elle ne sera pas considéré comme un déchet et EM=0.

1.3 Application

On va considérer la synthèse d'un antidépresseur : Le Sertraline de Zoloft®, développé par Pfizer.

L'idée ici n'est pas de comprendre les mécanismes réactionnels mais plutôt d'être capable de sortir d'une synthèse compliqué les éléments qui pourrons dire si une synthèse respecte au mieux la chimie verte.

Nous allons donc comparer deux synthèses : La synthèse originale de 1986 et la synthèse amélioré de 2004.



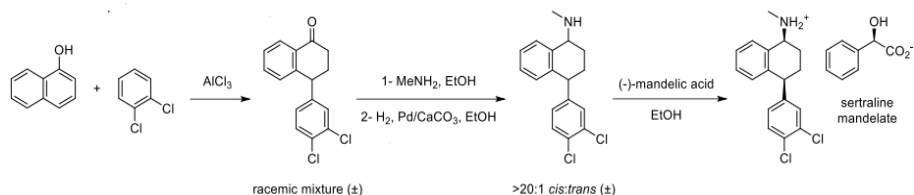
1.3.1 La synthèse originale de 1986

On a changé la stratégie de synthèse par la suite car celle ci présente des problèmes écologiques. Les principaux que l'on peut trouver ici, au regard des douze principes de la chimie verte sont :

- Cette synthèse présente trop d'étapes pour synthétiser la tétralone (composé relativement simple). Cela entraîne de nombreux déchets
- On a utilisation de deux solvants très toxique, a savoir le sulfure de carbone et hexane. Mais aussi d'un composé dangereux, le THF.

A partir de la un nouveau procédé à été crée pour améliorer cette synthèse, d'un point de vu de la chimie verte.

1.3.2 la synthèse amélioré de 2004



Alors, peut t'on dire que cette synthèse est mieux ?

- L'hexane et le THF sont remplacés par de l'éthanol, non toxique.
- On crée le composé tetralone cette fois ci en une seule étape.
- Certain composé ne sont plus nécessaire, comme le $TiCl_4$
- Dans cette synthèse on utilise moins de réactifs et de produits que dans le cas précédent, il est possible d'en conclure sans calcul que l'économie d'atome est plus grande dans cette synthèse.

Cette deuxième synthèse permet d'optimiser les procédés et le recyclage. On a égale diminution des solvants organiques de 979 L/kg à 256 L/kg.

Nous avons vu ici ce que l'on appelle chimie verte et comment différencier deux synthèses au regard de cela. Nous allons maintenant essayer de voir comment on peut jouer sur les réactifs pour rendre la synthèse la plus verte possible.

2 Matière première

Le chimiste s'inspire des transformations qui se produisent dans la nature afin de minimiser les dépenses énergétiques : C'est le principe de la chimie douce. Le but ici est de trouver des alternatives à la pétrochimie.

2.1 Hémisynthèse

De manière générale, pourquoi veut t'on synthétiser des molécules ?

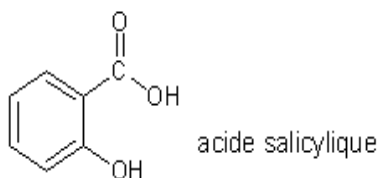
Dans la nature, on trouve la plupart des molécules dont on a besoin, mais la synthèse industrielle est plus rependu pour les raisons suivante :

- les quantités de substances actives sont en très petites quantités dans les plantes. A l'échelle d'une population, cela demanderait des quantités énormes de plantes.
- La synthèse est moins chère.
- Les molécules actives sont souvent mélangées dans les plantes à d'autres substances non souhaitées, et la séparation n'est pas aisée.
- Certaines molécules naturelles présentent des effets secondaires.

Une hémisynthèse est un cas particulier de synthèse chimique. La molécule de départ est issue directement de substances naturelles et correspond quasiment dans sa structure à la molécule que l'on souhaite produire. L'enjeu d'une hémisynthèse est une légère modification afin de faire acquérir à la molécule cible des propriétés qu'elle n'avait pas, ou la rendre plus assimilable pour un consommateur. L'intérêt par rapport à une synthèse est d'économiser des étapes dans la fabrication.

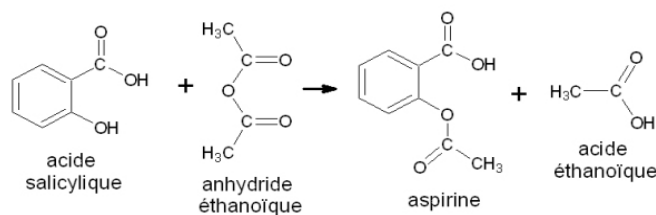
Pour mieux comprendre le concept d'hémisynthèse, nous allons nous baser sur l'exemple de l'hémisynthèse de l'aspirine

L'acide salicylique est une molécule présente naturellement dans le saule (un arbre) ou dans la reine des près (une plante). Elle a des propriétés analgésiques (supprime la douleur), antipyrétiques (combat la fièvre) et antiseptique (tue bactéries et virus).



Cependant, par hémisynthèse à partir de l'acide salicylique, on produit l'acide acétylsalicylique, plus connu sous le nom d'aspirine. En effet, celle-ci est plus performante comme médicament, a des propriétés anti-inflammatoires, et est moins nocive pour l'estomac. Elle conserve les propriétés de l'acide salicylique, sauf l'effet antiseptique. L'aspirine peut être produite par réaction de l'acide salicylique avec de l'anhydride éthanóique :

La réaction est lente. Elle sera accélérée par chauffage à reflux ainsi que par l'ajout d'un catalyseur qui n'est rien d'autre que l'acide sulfurique.



Protocole expérimental:

Dans un ballon de 100mL surmonté d'un réfrigérant à reflux, introduire 3,5 g d'acide salicylique, 5mL d'anhydride éthanóïque et 1mL d'acide sulfurique concentré à 18 mol/L. Le mélange est placé sous agitation au moyen d'un agitateur magnétique chauffant dans un bain marie à environ 60°C pendant 20min.

Retirer le ballon du bain marie et verser aussitôt par le sommet du réfrigérant 10 mL d'eau sans attendre le refroidissement. Quand l'ébullition est calmée, ajouter 50mL d'eau froide et agiter, à température ambiante jusqu'à l'apparition des cristaux.

Refroidir le ballon dans un bain d'eau glacée. L'aspirine précipite, filtrer sur Bûcher ou sur verre fritté. Rincer avec de l'eau froide. Sécher sous courant d'air. Récupérer les cristaux, les peser et établir le rendement brut.

A partir de là on peut calculer le rendement de la réaction grâce à la formule que nous avons énoncé en début de leçon.

On a dans cet montage introduit l'anhydride éthanóïque en excès et par conséquent, l'acide salicylique est le réactif limitant. De plus, une mole d'acide salicylique donne une mole d'aspirine, autrement dit:

$$n_{aspirine} = n_{Acide-salicylique} = \frac{m_{A-S}}{M_{A-S}} \quad (6)$$

$$= \frac{3,5}{138,12} \quad (7)$$

$$n_{aspirinethéorique} = 2,53 \cdot 10^{-2} mol. \quad (8)$$

$$r = \frac{n_{aspirine-obtenu}}{n_{aspirine-théorique}} \quad (9)$$

$$= \frac{m_{exp}}{M_{aspirine}} \frac{1}{2,53} \quad (10)$$

$$= \frac{m_{exp}}{180,15} \frac{1}{2,53 \cdot 10^{-2}} \quad (11)$$

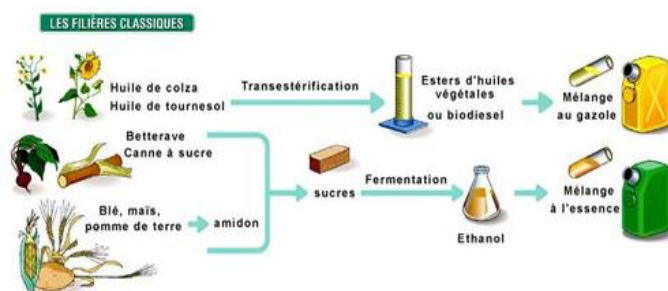
2.2 Agroressource et biotechnologie

On qualifie d'agroressources toutes les matières premières issues de l'agriculture quelle qu'en soit leur destinée d'usage. Ceci concerne donc exclusivement les matières d'origine vivante cultivées par l'homme, en aucun cas celles prélevées directement dans l'environnement. De ce fait elles sont considérées comme renouvelables.

Les agroressources nécessitent généralement une valorisation post-production par des procédés de transformations mécaniques et/ou chimiques avant d'être utilisées.

On va pouvoir ici donner quelques exemple d'agroressource:

- Dans le domaine de l'énergie, on peut fabriquer des biocarburants (ou agrocaburants) de première génération à base de dérivés d'huiles végétales (colza, tournesol) ou d'éthanol (betterave, blé),



Le bioéthanol et le biodiesel sont des carburants produits à partir de matériaux organiques non fossiles, provenant de la biomasse (ensemble de la matière organique, qu'elle soit d'origine végétale ou animale).

La transestérification est la technique classique de production de biodiesel. Il s'agit d'un procédé dans lequel les huiles végétales, les graisses animales ou les huiles à base de microalgues sont mélangées à froid à un alcool (éthanol ou méthanol) en présence d'un catalyseur (hydroxyde de sodium ou de potassium).



- Matériaux : bioplastiques à base de matières plastiques agrosourcés (maïs, patate douce, blé, canne à sucre, huile de ricin), caoutchouc, biopolymères et biocomposites
- Un autre mode de valorisation possible des agroressources est le recyclage des déchets organiques issus de l'agriculture pour ainsi les réintroduire dans le circuit de la chaîne alimentaire ou énergétique à travers diverses formes (compost, engrais organiques, alimentation animale, biogaz, etc.)

La production et la valorisation d'agroressources peut faire appel aux biotechnologies et faire intervenir des procédés de la chimie verte.

Les biotechnologies recouvrent l'ensemble des techniques qui utilisent les ressources du vivant à fins de la production de connaissances, de biens et de services. Elle résulte d'un mariage entre la science des êtres vivants, la biologie et un ensemble de techniques nouvelles issues d'autres disciplines telles que la microbiologie, la biochimie, la biophysique, la génétique, la biologie moléculaire, l'informatique...

On les retrouve dans différents domaines, à savoir :

- le domaine agricole (biotechnologies vertes) : Pour l'agriculture et l'environnement, les biotechnologies peuvent et pourraient permettre d'améliorer les caractéristiques des variétés de nombreuses espèces, diminuer l'usage d'engrais et pesticides en rendant en particulier les plantes plus résistantes aux maladies, contribuer à diminuer les émissions de polluants ou gaz à effet de serre, mieux protéger les ressources en eau, cultiver sur des sols pollués ou irriguer avec de l'eau salée, et capter dans l'air l'azote dont elles ont besoin
- le domaine de la santé (biotechnologies rouges) : Le secteur de la santé (humaine et vétérinaire) fait de plus en plus appel aux biotechnologies pour découvrir, tester et produire de nouveaux traitements. Les biotechnologies sont également très utilisées pour diagnostiquer et pour mieux comprendre les causes des maladies.
- le domaine de l'industrie (biotechnologies blanches) : Bien au-delà du secteur pharmaceutique, les biotechnologies blanches jouent un rôle croissant dans la bio-industrie, notamment dans les domaines de l'environnement. Les technologies blanches, parfois dites de seconde ou troisième génération, ont généralement recours à des bactéries utilisées comme vectrices et/ou productrices d'enzymes ou d'autres substances d'intérêt technique et commerciales.

Conclusion

Mettre au point des synthèses vertes devient indispensable aujourd'hui si l'on souhaite mettre en oeuvre un nouveau procédé. Pour cela, on peut utiliser les indicateurs et les outils de la chimie verte.

Nous avons vu qu'il faut avoir un esprit critique sur les synthèses organiques rencontrées afin de trouver des méthodes pour les rendre plus vertes.

De plus, nous avons découvert l'hémisynthèse et nous avons surtout compris qu'il est intéressant de partir de molécule naturelle qui procède pratiquement la forme finale souhaitée. De plus, il existe d'autres matériaux naturels permettant une synthèse plus verte, à savoir les agroressources et les biotechnologies.

En terminal, vous étudierez la notion de chiralité. On aurait également pu traiter le fait que la biomasse est source de chiralité. Les molécules sont souvent chirales et par conséquent elles peuvent être utilisées comme composé chiral de base pour une synthèse, en nous évitant de d'abord commencer par créer un composé chiral. Cela fait écho à la leçon sur la structure spatiale des molécules que vous verrez donc en terminal.

Questions

- Donner des dates clés en terme de protection de l'environnement ? Protocoles de Montréal, Kyoto, sommet de Rio ?
- Souvent on parle de chimie durable : c'est la même chose que la chimie verte ? Spécificité de la chimie verte ? → Chimie verte insiste plus le côté environnemental ; pas économique ou social.
- Quelles catégories de réactions / grands types de réactions existent en chimie organique ? → Additions, éliminations, substitutions. Quelles réactions seraient les meilleures du point de vue de l'économie d'atomes ? → Addition.
- Exemple d'une réaction d'addition ? Avec un alcène : le but-2-ène ? Est-ce qu'une hydrogénation marche toute seule ? → Il faut un catalyseur, comme le palladium. ça marche comment ? (physiosorption, chimiosorption et désorption)
- Réaction pour illustrer l'économie d'atomes : comment elle s'appelle ? → Wittig. Qu'est-ce qu'elle permet de faire ? → transformer $C=O$ en $C=C$. Comment on appelle le type de réactifs qu'on utilise avec l'alcène ? → Ylure de phosphore. Les ylures de phosphore sont principalement utilisés, en synthèse organique, dans la réaction de Wittig, où on les fait réagir sur des composés carbonyles (aldéhydes et cétones) pour obtenir des dérivés éthyléniques.
- Expliquer pourquoi le phosphore a une charge + ? C'est quoi le groupe Ph ? → 5 électrons de valence, lié à quatre atomes de carbone (dont 3 phényles).
- Dessiner la formule de Ph_3PO ? Quelle est la particularité du phosphore par rapport à l'azote ? → Hypervalence.
- Pourquoi dire que les réactifs sont peu dangereux pour l'environnement ? Fiches de sécurité ? NaOH est dangereux pour l'environnement ?
- Wittig : pourquoi les produits sont écrits sous forme ioniques alors que les réactifs sous forme moléculaire ? → Produits en solution, réactifs solides.
- Comment s'appellent : CS_2 , THF ?
- Quelle est la définition de bio ? Est-ce que ce qui est naturel est meilleur qu'un produit de synthèse ? Comment on a isolé la molécule naturelle ? Quelle image risque-t-on de véhiculer aux élèves ? → "Ce qui est naturel est meilleur que ce qui vient de la chimie". attention c'est faux.
- Est-ce que vous incluez l'homme dans l'environnement ?
- Est-ce que l'agriculture biologique est plus vertueuse que l'agriculture conventionnelle ? Est-ce que le bio est plus proche de la chimie verte / durable ? Est-ce qu'on utilise des pesticides dans l'agriculture bio ? oui
- Hémisynthèse de l'aspirine : que veut dire 18M ? Comment avez-vous vérifié que vous avez chauffé à 60 ? Quel est le rôle du réfrigérant ? Du support élévateur ? Pourquoi avoir ajouté de l'eau en fin de synthèse ? l'eau permet de faire réagir anhydride restant en acide étanoïque.
- Quelle est la structure de l'anhydride éthanoïque ? Comment il réagit avec de l'eau ? Comment doit être la verrerie avant la synthèse ? → Elle doit être sèche pour éviter l'hydratation de l'anhydride en acide éthanoïque. Donc qu'est-ce qui se passe quand on met l'eau à la fin ? Où va l'acide éthanoïque ? Pourquoi il ne se solidifie pas lors de la cristallisation de l'aspirine ?
- Comment on lave un solide ? Qu'est-ce qui est important lors d'un lavage ? → Enlever le vide du Büchner puis verser l'eau pour laver, gratter et remettre le vide. Sinon, l'eau est tout de suite aspirée et le solide n'est pas lavé.
- Pourquoi avoir énoncé les principes et les avoir classés : choix pédagogique ? Perte de temps ?

République

Quelles activités seraient intéressantes de proposer aux élèves pour les sensibiliser au développement durable ? Mélanger avec quelles autres matières ? Des sorties scolaires ? Comment on organise une sortie scolaire ?

Comment fonctionnent les matières que les élèves choisissent ? Comment s'appelle cet ensemble de matières ? En quelle classe ils choisissent leur spécialité ?

Remarques

- Principes : les montrer sans les dire, puis construire le plan en fonction des principes : I. Mieux utiliser les ressources → Principe numéro ... : Découper en quatre : matières premières, procédé de synthèse, déchets, solvants (si pas dans matières premières).
I. Mieux utiliser les ressources - II. Mieux concevoir les réactions : économie d'atomes, facteur environnemental, choix d'une réaction : l'exemple de l'ibuprofène, choix du solvant... voir Tale S, ancien programme de 2012 : chapitre dédié à la chimie verte. Possibilité de faire des petites synthèses rapides pour illustrer les principes.
- Possibilité de parler de réactions sans solvants : synthèse d'une chalcone (broyer les deux solides en même temps, on voit le produit apparaître car d'une autre couleur).
- Synthèse d'esters en micro-ondes : cf bouquins JFLM (attention, fours micro-ondes spéciaux en chimie mais utiliser un appareil normal à l'agreg) → nouvelles techniques. Mais pas très reproductible.
- Boues rouges évoquées en intro mais n'est pas revenu dessus dans la leçon : on aurait pu l'exploiter et en tout cas l'expliquer.
- Ajouter dans les pré-requis : formules topologiques, schémas réactionnels. L'élève de première est perdu avec le schémas de synthèse.
- Comparer avec des tableaux les différentes synthèses, en fonction de catégorie
- Attention : tout ce qui est naturel n'est pas forcément meilleur que ce qui est synthétisé ! Sinon vision idéaliste de la nature. On pourrait dire si les réactifs qu'on utilise en vrai sont issus de la nature ou bien synthétisés.
- Ne pas utiliser M pour mol/L devant les élèves. Notation désuète.
- Contrôle du pH en sortie du Büchner pour vérifier que le lavage a été efficace : il faut qu'après le lavage, l'eau qui a servi au lavage soit à pH neutre : tout l'acide éthanoïque a déjà été extrait avant ledit lavage.
- Attention à la différence phényl/benzyl.
- Attention à faire les bilans à l'échelle macro : 1 mole donne 1 mole et pas 1 molécule donne 1 molécule.
- Seconde générale puis en première : 3 spécialités à choisir (dépendent des établissements) → regroupement de classes dans les spé ; tronc commun : histoire-géo, français, philo, langues, enseignement scientifique (physique-chimie, SVT), EPS - terminale : 2 spécialités → compte au bac : moyenne de première dans la spé abandonnée (contrôle continu).
- Bac : épreuves des spécialités en mars ! Puis on fait le reste du programme mais sans pression pour les élèves (parcoursup s'arrête en mars). Bac en mars donc les notes comptent pour parcoursup : bien pour l'égalité des élèves lors des sélections sur dossier.
- Sortie scolaire : autorisation du chef d'établissement et du conseil d'administration (CA).
- exemple de sorti sur le développement durable : Voir des industrie dans le traitement des déchets, les bioplastiques...

- Il est peut être plus intéressant de faire la synthèse de l'ibuprophène dans cette leçon car il existe des info sur EA ou facteur de sheldon...

- on conseil de faire une synthèse facile sans solvant. On la trouve en ligne sur le site des STL :

https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/pluginfile.php/3379/mod_resource/content/6/CH6

Sinon dans le "40 expériences illustrées de chimie générale et organique" en page 254 (condensation aldolique)

- Il y a beaucoup de ressources sur les anciens livres de Term (2012-2019) mais aussi sur Cultures sciences. on en donne quelques liens intéressants:
 - <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-organique/chimie-pharmaceutique/un-exemple-de-chimie-verte-la-synthese>
 - <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-et-societe/environnement/introduction-a-la-chimie-verte>
 - <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-organique/methodes-et-outils/solvants-et-chimie-verte-13-les-solvants-en-chimie>
 - <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-organique/methodes-et-outils/les-concepts-de-la-chimie-verte-utilisation>