

Chapitre I : Initiation à la chimie verte

1. Historique

La chimie verte est née en réaction aux impacts négatifs de l'industrie chimique au XX^e siècle : pollution massive, accidents industriels (Seveso, Bhopal, marées noires), production incontrôlée de déchets toxiques... Ces événements ont suscité de vives critiques de la part de l'opinion publique et des organisations écologistes, obligeant les gouvernements à adopter des réglementations environnementales plus strictes



1990 → Une loi fondatrice aux États-Unis : La première étape officielle vers une chimie plus respectueuse de l'environnement a lieu en 1990, lorsque le Congrès américain adopte la loi "Pollution Prevention Act". Cette loi marque un tournant : elle encourage la prévention de la pollution à la source, plutôt que le traitement après coup. L'objectif est clair : protéger la santé humaine et l'environnement.

1991 → Naissance du concept de chimie verte : En 1991, l'Environmental Protection Agency (EPA), l'agence américaine de protection de l'environnement, introduit officiellement le terme "Green Chemistry" (chimie verte).

Elle la définit comme : « La conception de produits et procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation ou la formation de substances dangereuses. » Cette définition marque la naissance du concept au sein des politiques environnementales américaines.

1995 → Soutien gouvernemental et reconnaissance : En 1995, le président américain Bill Clinton lance le "Presidential Green Chemistry Challenge Award", un prix visant à récompenser les innovations dans le domaine de la chimie verte. Ce soutien présidentiel donne un nouvel élan à la discipline.

1997 → Création du Green Chemistry Institute : Le Green Chemistry Institute (GCI) est fondé en 1997, en partenariat avec l'American Chemical Society (ACS). Cet institut joue un rôle majeur dans la diffusion des principes de la chimie verte à l'échelle internationale.

1998 → Formalisation des 12 principes : C'est en 1998 que la chimie verte prend véritablement sa forme actuelle, grâce aux travaux des chimistes Paul Anastas et John Warner, tous deux issus de l'EPA. Dans leur ouvrage *Green Chemistry : Theory and Practice*, ils énoncent les 12 principes fondamentaux de la chimie verte, qui servent encore aujourd'hui de référence mondiale.

Ces principes proposent des règles concrètes pour rendre la chimie plus propre, plus sûre, et plus durable : réduction des déchets, efficacité énergétique, utilisation de matières premières renouvelables, substitution des solvants toxiques, etc.

Années 2000 → Extension et internationalisation

2001 → Création du Canadian Green Chemistry Network.

2003 → Introduction des 12 principes du génie vert (Green Engineering).

2005 → Le chimiste japonais Ryōji Noyori identifie trois clés de la chimie verte, notamment l'utilisation du CO₂ supercritique comme solvant vert.

2007 → L'Europe adopte le règlement REACH, qui vise à mieux encadrer les substances chimiques produites ou importées.

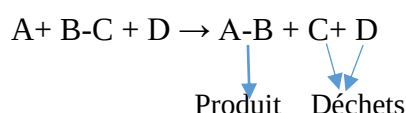
2. Principes de la chimie verte

Les douze principes de la chimie verte, énoncés en 1998 par Paul Anastas et John Warner, ont pour objectif de guider les chimistes vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement. Ces principes visent à réduire l'impact environnemental de la chimie en limitant la production de déchets, en évitant l'utilisation de substances toxiques, et en favorisant des procédés efficaces et durables. Ils encouragent notamment l'utilisation de matières premières renouvelables,

l'économie d'énergie, la réduction des dérivés chimiques inutiles, ainsi que la conception de produits qui se dégradent sans danger pour l'environnement. En résumé, la chimie verte propose une approche préventive et responsable, plaçant la sécurité, l'efficacité et la durabilité au cœur de l'innovation chimique.

1. Prévention des déchets :

Prévenir et limiter la production ou la formation des déchets. Mieux vaut éviter de produire les déchets que d'avoir ensuite à les traiter dans la synthèse chimique.



Ex : Extraction des polyphénols avec eau chaude ou micro-ondes plutôt qu'avec des solvants organiques toxiques.

2. Économie d'atomes (utilisation atomique) :

Les réactions doivent être conçues pour que tous les atomes des réactifs se retrouvent dans le produit final, avec le moins de pertes possible. Essayons que le produit final contienne une proportion maximale du produit de départ. Il faudrait qu'il n'y ait pratiquement pas d'atome non utilisé.

Ex : Synthèse directe d'esters ou d'alcaloïdes sans étapes de protection chimique.

Ex : Synthèse du carbonate de diméthyle : ancienne méthode : phosgène (COCl_2) + méthanol = $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{CO} + \text{HCl}$

Novelle méthode verte : $2\text{CH}_3\text{OH} + \text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = (\text{CH}_3\text{O})_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$

3. Concevoir des procédés moins dangereux :

Les méthodes de synthèse doivent limiter la toxicité pour les êtres humains et l'environnement par utilisation et des substances faiblement ou non toxiques.

Ex : Extraction des huiles essentielles par distillation à la vapeur au lieu d'utiliser le chloroforme.

4. Conception de produits chimiques plus sécuritaires :

Les produits doivent remplir leur fonction tout en étant aussi peu toxiques et nocifs que possible.

Ex : Développement de biopesticides à base de plantes

5. Réduire ou éliminer les solvants et auxiliaires :

Il faut éviter l'usage de solvants ou autres substances auxiliaires, ou choisir des alternatives plus sûres et moins polluantes.

6. Améliorer le rendement énergétique :

Favoriser les réactions chimiques à température et pression ambiantes pour consommer moins d'énergie.

7. Utiliser des matières premières renouvelables :

Préférer l'utilisation de ressources naturelles ou de matières premières renouvelables, privilégier les ressources issues de la biomasse (plantes, déchets organiques...) plutôt que le pétrole ou le charbon.

8. Réduire les dérivés inutiles :

Lorsque c'est possible, toute déviation inutile du schéma de synthèse (utilisation d'agents bloquants, les étapes de protection/dé-protection ou les modifications temporaires du procédé physique/chimique qui génèrent des déchets) doit être réduite ou éliminée. En général, réduire l'utilisation de molécules intermédiaires en mettant en œuvre des réactions directes, lorsque possible.

9. Utiliser des catalyseurs efficaces :

Favoriser les réactions catalytiques (réutilisables, efficaces) plutôt que les réactions stœchiométriques (grands volumes, déchets), c'est-à-dire l'intervention d'un agent (catalyseur) afin d'accélérer ou ralentir une réaction – aux procédés classiques, dits stœchiométriques, qui ne se basent que sur l'utilisation d'éléments chimiques en quantité précise afin d'obtenir une réaction déterminée. Cette méthode permet ainsi non seulement d'économiser de l'énergie nécessaire mais aussi la quantité de réactifs utilisés.

10. Concevoir des produits biodégradables :

Les produits doivent pouvoir se dégrader naturellement en substances non toxiques après usage, cela dans le but d'éviter leur persistance dans l'environnement,

c'est-à-dire concevoir un produit chimique avec l'idée qu'une fois en fin de vie, il doit devenir inoffensif, recyclable, voire biodégradable.

11. Analyse en temps réel de la lutte contre la pollution :

Intégrer des outils d'analyse et de contrôle en temps réel pour détecter et éviter la formation de sous-produits indésirables et dangereux.

12. Pratiquer une chimie plus sécuritaire pour prévenir les accidents :

Concevoir les substances et procédés de façon à réduire les risques d'explosion, d'incendie ou de rejets toxiques.

De manière générale, les douze principes de la chimie verte peuvent être regroupés selon trois grands objectifs fondamentaux :

✓ Réduire la pollution et les déchets :

En limitant la production de résidus et en favorisant la prévention à la source.

✓ Utiliser les ressources de manière efficace :

En optimisant la consommation d'énergie, les matières premières, et les étapes de production.

✓ Assurer la sécurité et minimiser la toxicité :

En réduisant l'impact des substances chimiques sur la santé humaine et l'environnement, et en concevant des procédés plus sûrs.

3. Les biomatériaux

a) Définition

Les biomatériaux sont des matériaux conçus pour interagir avec le vivant afin de réparer, remplacer ou assister un tissu, organe ou une fonction biologique. Ils peuvent être inertes, bioactifs ou résorbables selon leur comportement dans l'organisme.

Les biomatériaux naturels sont des matériaux d'origine biologique utilisés pour interagir avec les systèmes vivants. Ils proviennent de sources animales, végétales ou microbiennes

b) Classification :

- D'origine animale : collagène, chitine, kératine.
- D'origine végétale : cellulose, amidon, alginates.
- D'origine microbienne : PHA.
- Biocomposites : polymères naturels et fibres végétales.

c) Champs d'application

Les biomatériaux sont utilisés en ophtalmologie, odontologie, orthopédie, cardiologie, urologie, endocrinologie, chirurgie esthétique et dans de nombreux dispositifs médicaux.

- Biomédecine : sutures, implants, pansements
- Cosmétique : crèmes, gels, masques
- Emballage : films biodégradables
- Textile : fibres naturelles
- Environnement : filtration, dépollution

d) Propriétés

Les biomatériaux doivent présenter :

- des propriétés mécaniques adaptées,
- une stabilité chimique et absence de toxicité,
- une bonne biocompatibilité et résistance à l'infection.