

## Chimie bioinspirée

Manon LECONTE - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 9 juin 2020

*Merci à Joachim Galiana pour sa précieuse aide.*

**Mots-clés** : chimie bioinspirée, effet lotus, façades autonettoyantes, synthèse totale bioinspirée, catalyse bioinspirée.

**Niveau** : L3

**Pré-requis** :

- Catalyse enzymatique [L1]
- Mouillage et tension superficielle [L2]
- Matériaux semi-conducteurs [L3]
- Chimie industrielle [L3]
- Synthèse totale en chimie organique [L3]
- Présentation des molécules du vivant (protéines) [L3]

**Bibliographie** :

- Chimie des processus biologiques, cours de M. Fontecave [Niveau : ★★★]
- Page *Wikipédia* "Effet lotus" [Niveau : ★★]
- Article "S'inspirer de l'effet lotus pour créer un revêtement super-hydrophobe", *Techniques de l'ingénieur* [Niveau : ★★]
- Page "Ammoniac", *L'élémentarium* [Niveau : ★]
- Burrows, *Chimie<sup>3</sup>* [Niveau : ★★]
- Poupon, *Techniques de l'ingénieur* PHA2005 V1 [Niveau : ★★]

## Plan proposé

<b>I - Matériaux bioinspirés</b>	<b>1</b>
A/ Effet lotus . . . . .	1
B/ Peinture pour façades autonettoyantes . . . . .	2
<b>II - Synthèse totale bioinspirée</b>	<b>2</b>
<b>III - Catalyse bioinspirée</b>	<b>3</b>
A/ Limites de la catalyse enzymatique . . . . .	3
B/ Synthèse de l'ammoniac . . . . .	3

## Introduction pédagogique

Ce cours s'inscrit dans une séquence sur la chimie durable. On présente ainsi l'intérêt de s'inspirer voire de mimer des objets ou des processus naturels pour réduire les coûts, la pollution, ...

On montre l'intérêt de la chimie bioinspirée dans différents domaines de la chimie, ce qui nécessite un niveau suffisamment élevé des élèves (recul sur les concepts, grande culture chimique, ...).

**Difficultés** : réinvestir des notions issues de domaines très divers et prendre du recul sur les procédés bien connus.

**Exemples de TD** : étude d'articles scientifiques sur des systèmes bioinspirés.

## Introduction

Historiquement, les scientifiques se sont souvent inspirés de la nature pour concevoir de nouveaux objets ou matériaux.

**Définition** – **Chimie bioinspirée** : champ de recherche de la chimie dans lequel la connaissance précise des mécanismes biologiques permet de mettre au point des systèmes synthétiques plus ou moins éloignés pour remplir la même fonction.

La chimie bioinspirée semble ainsi plus souple que l'approche **biomimétique**, qui vise à reproduire strictement les mécanismes ou systèmes biologiques au laboratoire.

Cette approche a aujourd'hui du sens dans un contexte de chimie durable car elle permettrait de se rapprocher des conditions chimiques du vivant : température et pression ambiantes, solvant aqueux, utilisation de composés faiblement toxiques, ... ce qui implique une réduction des coûts, de la toxicité et de la pollution, et des mécanismes éventuellement plus efficaces et plus stables que ce qui est actuellement synthétisé.

**Objectifs** – Connaître des exemples issus de la chimie bioinspirée.  
Comprendre l'intérêt de l'approche bioinspirée par rapport à l'approche biomimétique.

## I - Matériaux bioinspirés

Un premier champ d'investigation de la chimie bioinspirée est la production de matériaux possédant des propriétés comparables à des matériaux dans le vivant.

Dans cette partie, on va présenter un exemple de matériau bioinspiré utilisant l'effet lotus.

### A/ Effet lotus

**Source** – Tech Ingé et Wikipédia.

Les feuilles de lotus présentent une très grande hydrophobicité, dite superhydrophobicité. Cela signifie que l'angle de contact entre une goutte d'eau et la surface des feuilles est supérieur à  $150^\circ$ . Les gouttes d'eau ne s'étalent donc pas et ne peuvent donc pas mouiller les feuilles : elles s'écoulent simplement. Plus intéressant encore, les gouttes d'eau en s'écoulant capturent les poussières à la surface des feuilles et permettent de les nettoyer.

Ce phénomène de superhydrophobicité est dû à la surface des feuilles de lotus. Elles possèdent une structure microscopique en relief, semblable à des papilles de l'ordre du micromètre espacées également de quelques micromètres. En outre, les feuilles sont recouvertes d'un film hydrophobe. Les gouttes d'eau ont donc très peu de points de contact.

| **Vidéo** – Vidéo issue d'images de synthèse d'un dépôt de gouttes d'eau sur une feuille de lotus (**Source** : *Wikipédia*).

Cet effet est en fait présent chez de nombreuses espèces animales (papillons, libellules, ...) et végétales (roseaux, ...).

## B/ Peinture pour façades autonettoyantes

| **Source** – *Wikipédia*, Sto SAS et *Chimie*<sup>3</sup> (p. 243).

Dès 1999, des industriels ont mis au point des peintures "auto-nettoyantes" pour les façades reposant sur l'effet lotus (Lotusan<sup>®</sup>). La peinture laisse une rugosité micrométrique sur la façade et est de plus hydrophobe ce qui permet un angle de mouillage très grand ( $140^\circ$  C).

Là où l'approche bioinspirée va plus loin que l'approche biomimétique tient dans le choix des matériaux. Les industriels ont cherché à accroître le caractère "auto-nettoyant" des façades en utilisant du dioxyde de titane. Ce matériau est un semi-conducteur et peut donc servir de photocatalyseur. Sous l'effet d'un rayonnement ultraviolet, il convertit le dioxygène et l'eau à sa surface en ion superoxyde  $O_2^-$  et en radical hydroxyde  $OH\cdot$  respectivement, qui sont d'excellents oxydants. Ils peuvent donc oxyder les molécules organiques (généralement hydrophobes) à la surface de la vitre (issues de la pollution ou de poussières) en dioxyde de carbone gazeux et en eau, qui n'adhèrent plus à la surface.

Cette approche est très intéressante car elle permet de s'affranchir de produits nettoyants souvent dangereux pour l'environnement.

Un autre exemple de matériau bioinspiré est un adhésif semblable à la peau des geckos.

## II - Synthèse totale bioinspirée

| **Source** – *Tech Ingé* PHA2005 V1.

Les organismes vivants sont le siège de réactions chimiques complexes aboutissant

à des molécules elles-mêmes complexes et de grand intérêt biologique, pharmaceutique, alimentaire, ...

La chimie organique présentée jusqu'alors en licence ne repose que sur des réactions entre substrats simples, sans apport de la chimie du vivant autre que la production des précurseurs. La synthèse bioinspirée utilise donc des processus utilisés en biosynthèse (*in vivo*) pour obtenir une molécule-cible. Le chimiste peut ainsi réaliser des réactions en cascade ou d'oxydoréduction plus rapides, plus efficaces et mieux contrôlées que s'il utilisait des réactions de chimie organique conventionnelle.

### III - Catalyse bioinspirée

#### A/ Limites de la catalyse enzymatique

La catalyse enzymatique est souvent décrite comme une solution d'avenir s'inscrivant parfaitement dans un contexte de chimie durable. Néanmoins, elle implique un certain nombre de contraintes :

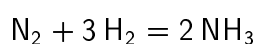
- les enzymes sont généralement chères à extraire (purifications) ou à produire (temps longs, faibles rendements) ;
- une enzyme est spécifique d'un (quelques) substrat. Il est donc difficile de l'utiliser autrement qu'avec le substrat auquel elle est associée naturellement ;
- il est indispensable de bien contrôler température, pression et pH sous peine de dénaturer l'enzyme. Elle perd alors toutes ses propriétés catalytiques.

L'approche bioinspirée permet d'extraire les propriétés catalytiques de l'enzyme en se passant des différentes contraintes suscitées. Les chimistes se concentrent sur la reproduction du site actif de l'enzyme et cherchent à augmenter son efficacité et sa stabilité en modifiant notamment les centres métalliques ou les ligands.

#### B/ Synthèse de l'ammoniac

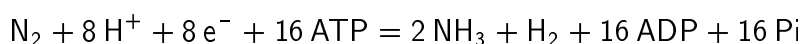
##### I Source – L'élémentarium et cours de M. Fontecave.

Le procédé Haber-Bosch permet de synthétiser de l'ammoniac à partir de diazote :



Cette synthèse industrielle se fait à haute pression (8 à 30 MPa) et à haute température (350 à 500 °C) sur un catalyseur de fer mais possède un mauvais rendement (20%). Pourtant, c'est un procédé de grande importance car il permet de produire notamment des engrais. Il représente un tonnage de 234 millions de tonnes en 2018 dans le monde et l'ammoniac est l'une des molécules les plus produites à l'échelle industrielle.

La synthèse de l'ammoniac à partir de diazote se fait également dans le milieu biologique, chez certaines bactéries symbiotes des plantes :



Cette réaction est catalysée par la nitrogénase et une réductase. Reproduire puis améliorer les sites actifs de ces protéines permettrait de réaliser la synthèse de l'ammoniac

dans des conditions douces et avec de bien meilleurs rendements, ce qui limiterait les coûts, la pollution et la consommation énergétique des usines productrices d'ammoniac. Les chercheurs ne sont toujours pas parvenus à mettre au point ce procédé, mais ont réussi à utiliser le site actif de la nitrogénase pour synthétiser des hydrocarbures à partir de monoxyde de carbone. Ce procédé entre dans le photosynthèse artificielle et laissent envisager des moyens de s'affranchir de la chimie du pétrole.

## Conclusion

La chimie bioinspirée ouvre le champ des possibles pour développer une chimie durable : on peut obtenir des matériaux ou des procédés très efficaces, moins polluants, moins coûteux, ... Elle semble plus intéressante que l'approche biomimétique car elle peut s'affranchir des contraintes du vivant (nombre d'éléments chimiques accessibles et nombre de substrats accessibles restreint, conditions opératoires imposées, ...).