

# Séquence n°15

## Les synthèses inorganiques

Fiches liées à cette séquence :

- ▶ Fiche de synthèse Séquence 14
- ▶ Fiche de synthèse Séquence 15

### ACTIVITÉ 1 : Synthèse de l'ammoniac

La production annuelle mondiale d'ammoniac dépasse les 100 millions de tonnes. On s'intéresse à quelques aspects de cette synthèse industrielle.

#### DOCUMENT 1 : Le procédé Haber-Bosch

En 1909, le chimiste allemand Fritz Haber de l'Université de Karlsruhe réussit à transformer le diazote gazeux en ammoniac, à l'aide d'un catalyseur.

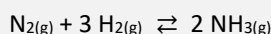
Très abondant dans l'atmosphère, le diazote est un gaz inerte : il n'est pas utilisable tel quel par la majorité des organismes vivants.

En 1913, un autre chimiste allemand, Carl Bosch, met au point un procédé permettant d'appliquer la méthode de Haber à l'échelle industrielle.

Des centaines de milliers de tonnes d'engrais azotés sont produites dès la fin des années 1910. Elles permettent la transformation des terres stériles en champs fertiles où les cultures se succèdent sans attendre que le sol ne se soit naturellement régénéré.

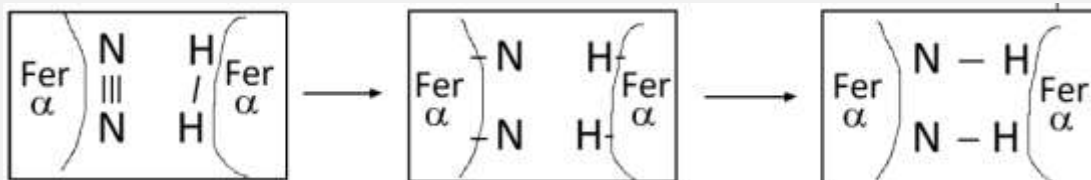
#### DOCUMENT 2 : Synthèse industrielle de l'ammoniac

Actuellement, la fabrication d'ammoniac  $\text{NH}_3$  repose sur la synthèse directe à partir de la réaction :



Cette synthèse est effectuée à une température de 450°C et sous une pression de 250 bars.

Un catalyseur est utilisé pour augmenter la vitesse de réaction : il s'agit du fer  $\alpha$  sous forme de microcristaux.



Les réacteurs doivent être conçus pour résister aux hautes pressions et pour évacuer la chaleur. La réaction étant exothermique, il faut en effet éviter que la température ne soit trop élevée, au risque de dégrader le catalyseur.

**DOCUMENT 3 : Rendement de la synthèse de l'ammoniac (exprimé en %)**

<b>P(bar)</b> <b>T (°C)</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>300</b>	<b>600</b>
<b>200</b>	50,7	81,5	89,9	95,4
<b>400</b>	3,8	25,1	47,0	65,2
<b>500</b>	1,2	10,6	26,4	42,1
<b>700</b>	0,23	2,2	7,3	12,6

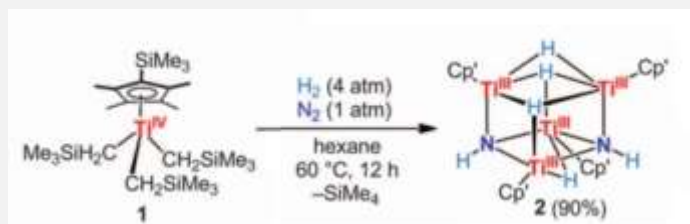
**DOCUMENT 4 : Vers une catalyse biomimétique**

Pour sa thèse, menée dans le département de chimie de l'Université de Bretagne occidentale, Alan Le Goff a travaillé sur la réaction qui permet de passer du diazote de l'air à l'ammoniac. Très utilisée dans l'industrie, notamment pour la production des engrais azotés, cette réaction n'est possible qu'à très haute température et très haute pression. Elle consomme beaucoup d'énergie. Alors que certaines plantes, comme le trèfle ou la luzerne, la réalisent naturellement, à température ambiante, grâce à des enzymes appelées des nitrogénases. « *Je n'ai pas travaillé directement avec les enzymes, car celles-ci nécessitent des conditions très particulières de manipulations, poursuit le chercheur. J'ai synthétisé chimiquement des modèles plus simples, qui se rapprochent de la structure du site actif de ces enzymes.* » Nous sommes encore loin des applications de chimie biomimétique à grande échelle, « *car il n'existe pas beaucoup de complexes chimiques capables de transformer efficacement l'azote en ammoniac dans des conditions douces, reprend-il. C'est un verrou technologique qu'il faudrait réussir à faire sauter pour que ce domaine de recherche, encore très fondamental, se développe. Ce qui est, par exemple, le cas pour l'hydrogène.* » Les modèles bio-inspirés sur lesquels j'ai travaillé sont des intermédiaires entre le tout bio, les enzymes, et le tout chimique, les catalyseurs métalliques. »

Nathalie Blanc - Sciences Ouest Février 2010

**DOCUMENT 5 : Du nouveau dans la synthèse de l'ammoniac**

En fait, le problème réside dans la triple liaison, très forte, entre les deux atomes d'azote, qui rend très stable cette molécule de diazote. Pour rendre possible sa coupure, il faut donc à la fois un catalyseur efficace, et beaucoup de chaleur. Aujourd'hui, un catalyseur à base de fer est utilisé, mais il n'est efficace qu'au-delà de 400 °C. Un article paru dans *Science* propose un composé organométallique de titane qui permet d'effectuer deux des étapes fondamentales pour la synthèse de l'ammoniac, à des températures et des temps de réaction très raisonnables. La triple liaison azote-azote est ainsi rompue, et chaque atome d'azote se retrouve au cœur d'un complexe trinucléaire. De plus, une liaison hydrogène-azote est formée.



C'est déjà une avancée assez spectaculaire, puisque à ces températures, aucun catalyseur n'avait pu réaliser ces deux étapes. Il reste encore le problème de la formation de  $\text{NH}_3$  à partir de ce composé. Non seulement les deux hydrogènes supplémentaires doivent se lier aux azotes, mais en plus il faut que le catalyseur (analogue du complexe 1) soit régénéré, et qu'on puisse l'introduire ainsi en très faible quantité. A ce jour, les chimistes n'y sont pas encore parvenus.

<http://pourquoilecielbleu>

Après analyse des documents 1 à 5, dégager la problématique de production d'ammoniac en explicitant le mode actuel de synthèse, ses avantages et ses inconvénients, ainsi que les voies de recherche actuellement envisagées.