

Introduction au génie des procédés

1. Historique du génie des procédés

Le génie chimique est une science relativement récente. Le premier ouvrage didactique, "The Handbook of Chemical Engineering", a été écrit en 1901 par George E. Davis, professeur à la Manchester Technical School. Il utilise une approche « chimie industrielle », dans laquelle ingénieurs chimistes et ingénieurs mécaniciens forment équipe pour fabriquer des produits à grande échelle.

En France, c'est en 1938 que les professeurs J. Cathala et M. Letort définissent le génie chimique comme la science de l'ingénieur ayant pour objet de concevoir, de calculer et de faire fonctionner, à l'échelle industrielle, l'appareillage dans lequel s'effectuent des transformations physiques ou chimiques.

Constatant que les opérations unitaires sont régies par des phénomènes de transport et de transfert entre phases, de matière, de chaleur et de quantité de mouvement, R. B. Bird, W. R. Stewart et E. N. Lightfoot mettent en évidence, en 1960, dans leur ouvrage "Transport Phenomena", l'intérêt du concept de cinétique physique.

Dans les années 1970 l'application, à d'autres domaines, de la méthodologie mise en œuvre dans le génie chimique a provoqué la création de toute une série de génies épigones : génie agro-alimentaire, génie biochimique, génie sanitaire, etc... conduisant à une prise de conscience pendant les années 1980, que ces principes s'appliquaient à tout phénomène de transformation de la matière (et de transfert) quel que soit le domaine considéré (y compris la biologie, les milieux naturels, etc.). En France, c'est de cette généralisation que le génie des procédés est né, et dont le premier congrès national s'est tenu à Nancy en 1987, suivi en 1988 par la création d'un Groupe français du génie des procédés.

2. Définition de Génie des Procédés

Génie des procédés, désigne l'application de la chimie à l'échelle industrielle. Elle a pour but la transformation de la matière dans un cadre industriel et consiste en la conception, le

dimensionnement et le fonctionnement d'un procédé comportant une ou plusieurs transformations chimiques et/ou physiques.

Les méthodes utilisées dans un laboratoire ne sont souvent pas adaptées à la production industrielle d'un point de vue économique et technique. Le génie chimique permet ainsi le passage d'une synthèse de laboratoire à un procédé industriel de même que son fonctionnement dans le respect des contraintes économiques, techniques, environnementales et de sécurité.

3. Procédé industriel, génie chimique et grands domaines de la chimie industrielle

Tout procédé industriel peut se ramener à une combinaison logique d'un nombre restreint d'unités d'opérations physiques telles que broyage, filtration, distillation, absorption, séchage... que l'on appelle opérations unitaires.

3.1 Les opérations unitaires : sont des opérations élémentaires individuelles mises en œuvre dans l'industrialisation d'un procédé.

Les grandes étapes d'une fabrication sont généralement les suivantes :

1. Préparation, conditionnement et acheminement des matières premières (réactifs) ;
2. Transformation chimique des réactifs en produits ;
3. Séparation, purification et conditionnement des produits.

A. Classification des opérations unitaires en fonction des étapes de production :

1. Préparation et acheminement des matières premières :

- Broyage, classement des solides ;
- Transport des solides ;
- Déplacement des liquides ;
- Transport des gaz (compression, mise sous vide).

2. Transformation chimique des réactifs en produits :

- Homogénéisation des mélanges (agitation) ;
- Réaction chimique (dans un réacteur) ;
- Transferts de chaleur.

3. Séparation et purification des produits :

- Concentration, cristallisation ;
- Décantation ;
- Filtration ;
- Centrifugation (cas d'un mélange solide + liquide) ;
- Rectification (distillation) ;
- Extraction par solvant ;
- Séchage.

B. Opérations continues et discontinues :

1. Opération discontinue :

Une opération discontinue s'effectue en système fermé (batch process) :

On opère sur un lot de réactif que l'on traite en faisant succéder chronologiquement les différentes étapes prévues.

Ce type d'opération s'utilise dans les laboratoires, pour les petites fabrications et pour l'élaboration ou séparation de produits à forte valeur ajoutée.

2. Opération continue :

Une opération continue s'effectue en système ouvert ou "à courants" (flow process) :

Les réactifs ("influent") sont introduits en continu dans l'appareil avec des débits déterminés. Les produits ("effluent") sont récupérés en continu, de telle sorte que l'appareil contienne toujours la même masse réactionnelle.

Si les valeurs des différents paramètres (pression, température, composition...) en un point quelconque de l'appareil sont constants, on dit que le régime stationnaire (ou permanent) est atteint.

Ce type d'opération s'utilise dans les productions importantes à débouchés constants.

3.2 Domaines d'application

Le génie chimique ou génie des procédés s'intègre dans les domaines suivants :

- Industrie chimique ;
- Industries pharmaceutique et biotechnologique ;
- Industrie cosmétique ;
- Industrie agroalimentaire et agrochimique ;
- Industrie papetière ;
- Industrie cimentière ;
- Industrie pétrolières ;
- Les métiers de l'environnement (traitement de l'eau, gestion des déchets...)
- Production d'énergie....etc.

3.3 Exemple de procédé industriel

Le procédé *Haber*

Le procédé *Haber* est un procédé chimique servant à la synthèse de l'ammoniac (NH_3) par hydrogénation du diazote (N_2) gazeux atmosphérique par le dihydrogène (H_2) gazeux en présence d'un catalyseur.

C'est en 1909 que le chimiste allemand Fritz Haber parvint à mettre au point ce procédé chimique. Une équipe de recherche de la société BASF mit au point, en 1913, la première application industrielle du procédé *Haber* : c'est le **procédé *Haber-Bosch***. Le responsable de son industrialisation, Carl Bosch, agissait à la fois comme superviseur de l'équipe et comme concepteur, apportant des solutions originales à certains problèmes posés lors de sa mise au point.

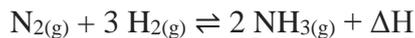
Le procédé *Haber-Bosch* a une importance économique considérable, car il est difficile de fixer l'azote en grandes quantités et à un coût peu élevé, à l'aide des autres procédés mis au point.

Le procédé a également une importance militaire certaine, car l'ammoniac peut être transformé en acide nitrique, précurseur de la poudre à canon et d'explosifs puissants (comme le TNT et la nitroglycérine).

L'ammoniac sert le plus souvent à créer des engrais azotés synthétiques, lesquels ont longtemps été considérés comme essentiels pour alimenter la population mondiale au début du XXI^e siècle.

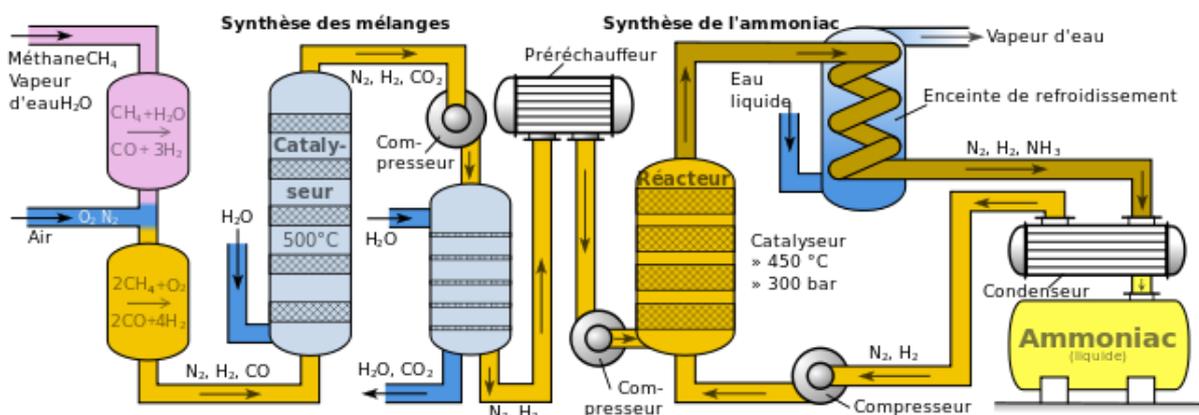
Description

Le procédé *Haber-Bosch* consiste à favoriser la réaction exothermique de l'équation chimique à l'équilibre :



En génie chimique, cette réaction est réalisée en plusieurs étapes:

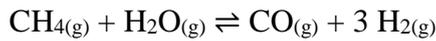
1. **Reformages** (en amont du réacteur chimique) :
 - a. purifier le dihydrogène ;
 - b. éliminer les poisons catalytiques.
2. **Synthèse** (dans le réacteur chimique) :
 - a. introduire du dihydrogène pur ($\text{H}_{2(\text{g})}$) ;
 - b. introduire du diazote ($\text{N}_{2(\text{g})}$) ;
 - c. synthétiser de l'ammoniac ($\text{NH}_{3(\text{g})}$) à l'aide de catalyseur.
3. **Extraction** (en aval du réacteur chimique) :
 - a. séparer l'ammoniac des autres molécules ($\text{N}_{2(\text{g})}$ et $\text{H}_{2(\text{g})}$) par liquéfaction ;
 - b. recycler les molécules restantes.
4. **Recycler la chaleur produite.**



1. Reformages :

Le méthane est purifié, surtout dans le but d'éliminer le soufre qui empoisonnerait les catalyseurs.

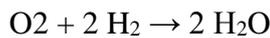
Le méthane purifié réagit ensuite avec de la vapeur d'eau lorsque mis en contact avec un catalyseur fait d'oxyde de nickel. C'est le processus de **vaporeformage** :



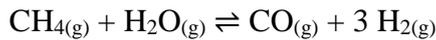
A la sortie de la première étape de reformage, la concentration en CH₄ est de l'ordre de 11%

Un deuxième reformage suit en ajoutant de l'air. Ce deuxième reformage peut se diviser en deux étapes distinctes :

- Combustion de l'hydrogène avec l'oxygène de l'air

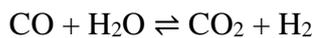


- Réaction endothermique de vaporéformage du méthane résiduel :

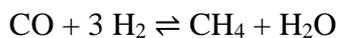


A la sortie du réacteur de réformage secondaire, la concentration en méthane est de l'ordre de 0,3%

La réaction du gaz à l'eau permet d'obtenir plus d'hydrogène à partir du monoxyde de carbone et de la vapeur d'eau :



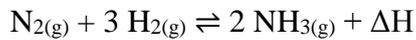
Le mélange gazeux passe alors dans un méthanateur, qui convertit la plupart du monoxyde de carbone restant en méthane :



Cette étape est nécessaire car le monoxyde de carbone empoisonne les catalyseurs. À la fin de ces étapes, le méthane et une partie de la vapeur d'eau ont été transformés en dioxyde de carbone et en dihydrogène.

2. Synthèse de l'ammoniac :

C'est pendant le procédé *Haber* proprement dit que survient la synthèse de l'ammoniac. Le diazote et le dihydrogène réagissent sur un catalyseur de fer qui contient de l'hydroxyde de potassium comme accélérateur :



4. Rôle du spécialiste des procédés

L'ingénieur en génie des procédés est un spécialiste des installations industrielles qui a pour mission :

- Concevoir et de suivre la mise en œuvre d'équipements nouveaux
- adapter des installations sur la base de procédés de fabrication décrits par les équipes de procédés produits
- Il est associé à la mise en place des installations et à leur validation.
- Il doit prendre en compte, entre autres, l'ensemble des aspects fiabilité, économique, sécurité et ergonomie des systèmes. d'hygiène et d'environnement
- Il travaille aussi bien sur les équipements de fabrication proprement dits que sur les équipements d'automatisation et de contrôle.
- Il utilise des outils de modélisation et de simulation pour passer d'une échelle bureau d'étude à une échelle industrielle.