

---

## INTRODUCTION A LA CHIMIE MINERALE INDUSTRIELLE

---

### I. DEFINITION

On définit la chimie industrielle comme la branche de la chimie qui applique des procédures physiques et chimiques à travers la transformation de matières premières naturelles et leurs dérivés en produits, dite industrielle qui sont bénéfiques pour l'humanité, en exploitant les technologies du génie chimique.

Le **génie chimique** ou la **Génie chimique** intervient lorsque la chimie est appliquée à l'échelle industrielle. C'est dire lorsque la matière est transformée dans un cadre industrielle. Le Génie des procédés consiste donc à la conception, le dimensionnement et le fonctionnement d'un procédé comportant une ou plusieurs transformations chimiques et/ou physiques. Les méthodes du laboratoire ne sont souvent pas appropriées à la production industrielle d'un point de vue économique et technique. Le génie chimique nous permet ainsi le passage d'une synthèse à l'échelle laboratoire à un procédé à l'échelle industriel de même que son fonctionnement dans le respect des contraintes économiques, techniques, environnementales et de sécurité.

L'industrie chimique peut être subdivisée suivant le type de matières premières principales et/ou le type des produits principaux fabriqués. Il existe donc les industries de chimie inorganique industrielle et les industries de chimie organique industrielle.

**L'industrie de la chimie minérale** utilise essentiellement de l'eau, de l'air et des minéraux (sels, soufre et phosphates).

Elle regroupe quatre activités distinctes :

- **la fabrication des produits chimiques inorganiques** : Des acides minéraux (sulfurique et ses dérivés, phosphorique, chlorhydrique, fluorhydrique, borique, etc.), Des produits obtenus par électrolyse (chlore, soude et dérivés) et autres produits divers (eau oxygénée, silicium, alumine hydratée, etc.);
- **la fabrication d'engrais et de produits azotés, la production d'ammoniac** provenant du gaz naturel et fabrication **l'acide nitrique**.

- *la fabrication de gaz comprimés* : gaz de l'air, azote, oxygène et gaz rares, oxydes d'azote, hydrogène et gaz carbonique mais non celle de l'acétylène;
- *la fabrication de pigments et colorants* : Production des pigments minéraux, oxydes de titane, oxyde de zinc, oxyde de plomb, etc., et aussi les pigments et des colorants organiques ;

## II. DEFINITION D'UN PROCEDE INDUSTRIEL

C'est la mise en œuvre des résultats d'expériences pratique, dans un cycle de fabrication fonctionnant en continu et faisant appelle aux différents concepts et techniques opératoires ou la matière première est transformée en vue de réaliser un bien qui serait conforme aux spécifications en vigueur. L'application stricte des techniques opératoires (paramètres de procédé) permet de garantir un produit qui dépend des normes de qualités éditées dans des ouvrages de spécialisés en matière de « produits de commercialisation »

Un procédé doit répondre impérativement à un certain nombre de concepts :

-critère de continuité : cette condition implique un fonctionnement régulier des différents équipements de l'installation à fin que le produit fini soit constant dans le temps

-Critère de rationalité : la rationalité, la fiabilité d'un procédé sont les deux termes qui reflètent l'esprit d'innovation et de développement des facultés cognitive.

-critère économique : c'est le critère de fond qui doit être considéré en 1<sup>er</sup> lieu dans l'étude comparative entre les différents procédés.

## III. REPRESENTATION D'UN PROCEDE OU FLOW SHEET

### III.1. Schéma de principe

Le schéma de principe ou encore appelé aussi schéma-bloc c'est une représentation graphique simplifié d'un procédé relativement complexe comportant plusieurs étapes (réaction, séparation, mise en forme...) qui transforment des matières premières en produit fini.

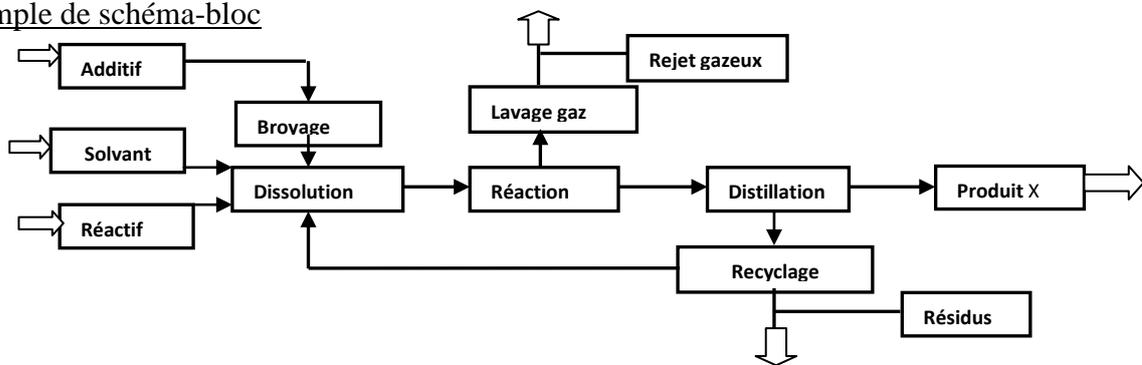
Le schéma bloc servira de support à :

- l'élaboration de schémas procédés et des bilans ;
- la recherche des voies concernant le traitement des divers rejets ou effluents.

Quelles que soient les phases, il reste :

- un document descriptif simple de présentation du procédé ;
- un outil d'investigation pour comprendre le fonctionnement d'une étape de procédé et d'un équipement.

Exemple de schéma-bloc



Les informations minimales pour un schéma-bloc sont les suivantes:

- Composition chimique de matière première
- L'ordre chronologique des opérations
- Les caractéristiques des appareils et des machines

Le schéma-bloc est utilisé pour donner un aperçu d'un procédé complexe ou pour effectuer des bilans massiques simples fournissant des indications générales sur la consommation ou la production de produits et d'énergies.

**III.2. Schéma technologique**

Le schéma technologique fait suite au schéma bloc. C'est une représentation dans laquelle les équipements sont représentés d'une manière symbolique, y compris les stockages, avec toutes les lignes de liaisons principales et les alimentations en utilités.

C'est un support pour réaliser l'implantation, le dimensionnement des appareils, les schémas tuyauterie et instrumentation.

Le schéma technologique d'un procédé nous renseigne sur :

- l'état physique, thermodynamique des matières premières et des produits intermédiaires et des produits finis
- L'ordre successif des opérations
- Le type des machines et des appareils utilisés
- les flux entrant et sortant avec leurs débits et dénominations

Il y a également les informations suivantes :

- la dénomination et débit des flux internes
- les vannes essentielles
- les positions et les types de mesure pour le contrôle du procédé
- les informations particulières sur les conditions opératoires
- les caractéristiques des équipements

## IV. PROCEDE ET TECHNIQUE COURAMMENT APPLIQUES

### IV.1. caractéristiques générales d'un procédé de fabrication de secteur de chimie inorganique SCI

Les procédés de fabrication sont variés et parfois très complexes, ils consistent généralement en une combinaison d'étapes et d'équipements simples. Ces étapes et ces équipements sont souvent combinés et modifiés pour créer le procédé qui permet de fabriquer le produit désiré.

L'activité principale d'un procédé de fabrication consiste à transformer des matières premières pour obtenir le ou les produits souhaités, au moyen des réactions chimiques.

Cette transformation comporte généralement les cinq étapes :

- ***fourniture, stockage et préparation des matières premières et auxiliaires*** : la fourniture, le stockage et la préparation (par exemple le pesage et le broyage) et leur chargement dans le ou les récipients (réacteur, four) où vont se produire la ou les réactions chimiques
- ***synthèses/réaction/calcination*** : Les matières premières sont transformées en un produit brut au moyen d'une réaction chimique, souvent en présence d'un catalyseur

- *séparation et purification des produits* : le produit obtenu par la réaction est séparé des autres composants de la réaction (matières premières n'ayant pas réagi, des sous-produits, des catalyseurs) et purifié jusqu'à l'obtention de la spécification requise
- *entreposage et emballage des produits* : l'entreposage, l'emballage et l'exportation des produits finis
- *traitement des rejets* : la collecte, la réutilisation, le traitement et l'élimination des gaz, liquides et solides indésirables qui contiennent des polluants.

#### **IV.2. Les étapes de transformation courantes**

Les procédés qui sont utilisés pour la fabrication des produits dans l'industrie de la chimie minérale se composent le plus souvent d'une combinaison d'un nombre limité d'étapes. Ces étapes de transformation concernent, soit le type de réaction chimique utilisé pour fabriquer des produits inorganiques, soit le transfert physique d'énergie et de matières.

*Tableau N°1.1 : Les étapes de transformation courantes*

|  |   |
|--|---|
| <b>1. Dissolution des matières premières</b> | En fonction du procédé de fabrication employé pour fabriquer une SCI, il peut être nécessaire de mettre en solution des matières premières solides sans les modifier chimiquement, pour séparer les parties non solubles et procéder à des transformations complémentaires (par exemple pour produire des pigments inorganiques). Cela consiste à dissoudre, suspendre, disperser, émulsifier, etc., les matières solides dans un solvant (en général un liquide à température ambiante et sous pression atmosphérique). Pour la fabrication de SCI, le solvant le plus couramment utilisé est l'eau.   |
| <b>2. Mélange</b>                            | Les opérations de mélange se classent selon l'état d'agrégation du composant principal (gazeux, liquide, pâteux, solide/granulaire). Pour un liquide, le processus est généralement appelé "agitation" et pour une pâte, il porte généralement le nom de "pétrissage".<br>Un mélange grossier s'opère dans des mélangeurs à matières solides par un mouvement continu des matières contenues dans le volume à transformer.  |
| <b>3. Opération de séparation</b>            | A fin de séparer les matières argileuses et les carbonates, on peut procéder par aéroséparation ou bien hydro séparation.<br><ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <u>Dans l'aéroséparation</u> le phosphates par exemple est finement broyé puis soumis à un courant d'air de débit et de vitesse calculés de telle manière à emporter les fines particules qui seront séparer ultérieurement du reste de la matière première, ainsi la séparation aura lieu.</li> <li>✓ <u>L'hydro séparation</u> consiste à la mise en pulpe d'un mélange (phosphate broyé+eau) le courant d'air est envoyé en bas pour transporter les fines particules en haut de la colonne afin de les séparer.</li> </ul>  |
| <b>4. Réaction/synthèse</b>                  | La synthèse, ou réaction, est le cœur du procédé de fabrication, car c'est là que les matières premières sont transformées en un produit brut au moyen d'une réaction chimique (par exemple une précipitation), souvent à l'aide d'un catalyseur qui permet d'augmenter le rendement de production. Cette réaction s'opère au sein d'un réacteur. La fabrication d'une SCI passe systématiquement par une étape de transformation par synthèse/réaction ou par calcination  |
| <b>5. Calcination</b>                        | <b>La calcination</b> est un processus endothermique qui nécessite de la chaleur pour décomposer des composés chimiques et pour éliminer le produit volatile, habituellement, le dioxyde de carbone ou l'eau. La fabrication de certains pigments inorganiques de spécialité comporte une étape de transformation par calcination.<br><b>Le procédé de combustion</b> consiste en une oxydation exothermique ou "combustion" des matières de départ.<br><b>Le processus de grillage</b> nécessite des températures élevées et une atmosphère de four contrôlée pour provoquer les réactions chimiques souhaitées dans la charge du four ; les réactions de grillage peuvent être endothermiques ou exothermiques.<br>C'est une opération très connue dans le domaine de l'enrichissement des phosphates. Sa mise en œuvre consiste à broyé le phosphate et à le soumettre à un courant d'air chaud qui va porter la température à plus que 700°C. Ceci permet de réduire la teneur en matière organique dans les phosphates, à éliminer les substances volatiles et permettre une réaction chimique ultérieure beaucoup plus aisée. |

|  |  |
|--|--|
| <p><b>6. Lavage</b></p>  | <p>Le lavage s'utilise fréquemment pour éliminer les sous-produits solubles (par exemple les sels) qui résultent, par exemple, de la fabrication des pigments inorganiques de spécialité, et il suit généralement l'étape de synthèse/réaction ou de calcination. Dans la fabrication de SCI, le lavage s'effectue généralement à l'eau (des solvants organiques sont parfois ajoutés pour réduire au minimum les impuretés organiques)</p>  |
| <p><b>7. Séchage</b></p>                                       | <p>Le séchage consiste à séparer les liquides volatils des matières solides par vaporisation des liquides et élimination de la vapeur. Le liquide à éliminer dans la fabrication de SCI est généralement de l'eau, mais ce peut être également un solvant tel que l'alcool ou l'acétone, ou un mélange de ces solvants.</p>  |
| <p><b>8. Cristallisation</b></p>                               | <p>La cristallisation est un phénomène physique qui conduit à la formation d'un précipité à partir d'un milieu contenant un mélange solide-liquide ou bien liquide seul. La cristallisation se rencontre souvent dans la fabrication des engrais minéraux. Au cours de ce processus on doit atteindre un état dit état de sursaturation. Cet état est favorisé par plusieurs méthodes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction des Germes cristallins pour améliorer le processus</li> <li>• Cristallisation par voie poly thermique : la diminution de la température peut favoriser dans certain cas l'apparition des cristaux solides activant le processus de cristallisation.</li> </ul>   |
| <p><b>9. La cristallisation iso thermique</b></p>              | <p>peut être atteinte par évaporation d'eau à T constante. Les différentes phases de cristallisation peuvent être résumées par deux étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'apparition dans le milieu de " Bébés cristaux " : cette étape est une étape de nucléation</li> <li>• Maturation des nucléons ou croissances cristalline.</li> </ul>  |
| <p><b>10. Opérations de fragmentation et de séparation</b></p> | <p>La fragmentation, également appelée comminution, est définie comme étant la décomposition mécanique d'un solide en particules plus petites, sans modification de l'état d'agrégation de ces dernières. Ne sont pas pris en compte ici les processus tels que l'atomisation d'un liquide ou la séparation d'un gaz en bulles.</p> <p>Dans le secteur des SCI, la fragmentation a principalement pour objet de produire une distribution granulométrique spécifique ou une surface spécifique.</p>  |
| <p><b>11. Broyage</b></p>                                      | <p><b>Le broyage à sec</b> est une action qui consiste à réduire des matières en une poudre fine ou en petites particules dans un broyeur adapté et en l'absence de liquide, au moyen de tiges, de boulets ou de galets ou de manière autogène, par la matière même. Le broyage à sec est utilisé si le procédé suivant est un procédé par voie sèche ou si la matière ne supporte ni eau ni autres liquides. Pour la sécurité des employés, il convient d'être vigilant au risque d'explosion (explosion de poussières).</p> <p><b>Le broyage par voie humide</b> est défini comme étant la fragmentation (réduction en une poudre fine ou en petites particules de matière) de matières solides suspendues dans un fluide. Cette technique s'utilise principalement pour les raisons suivantes :</p> |

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• la matière de départ est déjà sous forme de suspension</li> <li>• le produit souhaité doit se présenter sous forme de suspension</li> <li>• la matière de départ doit être finement broyée et a tendance à s'agglomérer</li> <li>• la matière est toxique.</li> </ul>  |
| <b>12. Tamisage</b>                   | <p>Cette opération consiste à faire passer des particules de matière par des ouvertures de tel ou tel calibre dans un tamis pour les réduire. Il existe différents types d'opérations de tamisage :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• le tamisage par gravité</li> <li>• le tamisage mécanique</li> <li>• la classification pneumatique.</li> </ul>  |
| <b>13. Autre opérations unitaires</b> | <p>*Dans le cas d'une séparation physique on utilise la différence de volatilité des constituants → <u>c'est la distillation</u></p> <p>*Dans le cas d'une séparation d'un mélange hétérogène ou homogène :<br/>→ <u>Différence de solubilité dans un solvant : Extraction liquide-liquide</u></p> <p>*Dans le cas d'une séparation d'un liquide dans un mélange solide-liquide :<br/>→ <u>Cristallisation simple ou fractionnée, extraction liquide-liquide, extraction liquide-solide</u></p> <p>*Dans le cas d'une séparation d'un mélange de gaz au moyen d'un solvant :<br/><br/>→ <u>Extraction gaz-liquide ou absorption</u></p> |

## V. LES MATIERES PREMIERES

### V.1. Définition

La première désigne l'ensemble des substances disponibles dans notre environnement terrestre (matières premières naturelles) qui sont indispensables pour produire à l'aide d'un procédé des substances recherchées.

### V.2. Matières premières naturelles (minérales)

Parmi les matières première naturelles minérales trois substances sont distinguées car elles apparaissent comme inépuisables. Ce sont l'air (avec pour composants principaux l'**oxygène** et l'**azote**), l'**eau** et le **chlorure de sodium** présent dans des mines et contenu dans l'eau des mers et des océans.

Les autres matières naturelles minérales sont classées selon deux types :

- Les principales **substances métalliques** auxquelles correspondent les matières premières naturelles minérales appelées minerais peuvent être classées de la façon suivante :
  - Métaux communs : l'aluminium, le cuivre, l'étain, le fer, le plomb et le zinc.
  - Métaux d'alliages : l'antimoine, le chrome, le cobalt, le manganèse, le nickel et le tungstène,
  - Métaux précieux : l'argent, le platine et les métaux de la mine du platine (Pd, Ru, Rh, Tr, Os)
  - Métaux pour technologie avancées : titane et zirconium.
- Les principales **substances non métalliques** existant à l'état naturel sont l'amiante, le calcaire, la silice, la fluorine, les phosphates, la potasse, le sel, le soufre et le talc.

## VI. L'ENERGIE

### VI.1. Introduction

L'industrie chimique vient en tête des grandes industries consommatrices d'énergie, elle utilise à la fois les produits énergétiques comme source des énergies nécessaires au fonctionnement de ses unités de production et surtout comme matières premières dans de nombreux procédés de chimie lourde. Les sources d'énergie sont les substances ou les phénomènes qui permettent d'obtenir du travail mécanique ou de la chaleur.

## VI.2. Les principales sources d'énergie utilisées par l'industrie chimique

Les deux principales sources d'énergie utilisées par l'entreprise chimique sont les *combustibles* et *l'électricité*. Les combustibles sont constitués par les charbons, les fuels et le gaz naturel. Cette énergie est transformée en chaleur par la combustion et les combustibles sont caractérisés par leur *pouvoir calorifique* exprimé en kJ/kg.

L'*électricité* provient essentiellement soit de la conversion d'énergie hydraulique dans des centrales hydro-électriques, soit de combustibles dans les centrales thermiques et les centrales nucléaires.

## VI.3. Les équivalences énergétiques et les différents combustibles

L'unité d'énergie dans le SI est le Joule, mais trop petite, cette unité est peu utilisée et on lui préfère la tonne équivalente pétrole (tep) ou la tonne équivalent charbon (tec). Le gaz naturel est le combustible ayant le coût d'exploitation le plus bas.