

Accord-cadre de coopération internationale entre l'Université Paris Sud (France) et l'Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)

1. Introduction au génie des procédés pharmaceutiques

Kawthar BOUCHEMAL

Faculté de Pharmacie, Université Paris Sud

1

Plan du cours

1. Génie des procédés et génie chimique
2. Représentation symbolique en génie des procédés
3. Exemple de problématiques résolues par le génie des procédés

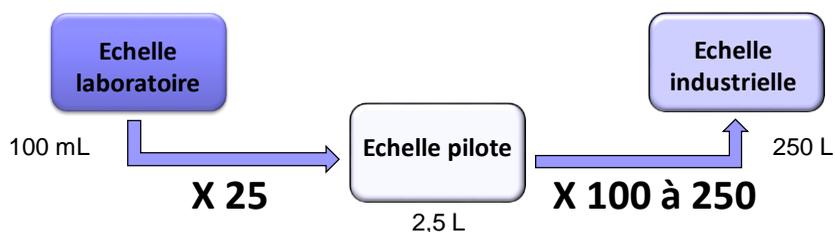
2

1. Génie des procédés et génie chimique

3

1. Génie des procédés et génie chimique

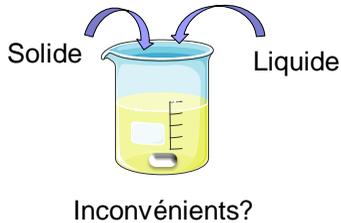
- Souvent, les méthodes utilisées dans un laboratoire ne sont pas adaptées à une production industrielle.
- Le génie chimique permet le passage d'une transformation (chimique, physico-chimique, biologique, physique...) de l'échelle laboratoire à une échelle industrielle.
- Pour ça, il faut concevoir un pilote : une échelle intermédiaire entre l'échelle du laboratoire et l'échelle industrielle.



4

1. Génie des procédés et génie chimique

Exemple : une simple opération de dissolution d'un solide dans un liquide à température ambiante.

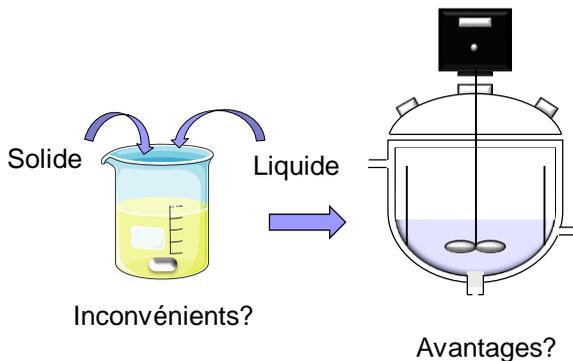


- Température ambiante très variable
- Conditions d'agitations non-optimales
 - Souvent les dimensions du barreau magnétique ne sont pas indiquées
 - Barreau magnétique non-adapté à des milieux visqueux et de rhéologie complexe

5

1. Génie des procédés et génie chimique

Exemple : une simple opération de dissolution d'un solide dans un liquide à température ambiante.



- Réglage précis de la température
- Conditions d'agitations maîtrisées

Réacteur : un récipient apte à la réalisation et l'optimisation de réactions chimiques et de procédés de transformation de la matière.

6

1. Génie des procédés et génie chimique

- Comment concevoir le montage pilote ?
- Quel est l'effet de certains paramètres sur l'opération (ou transformation) étudiée avec ce montage pilote?
 - Température, agitation, géométrie du réacteur, taux de remplissage du réacteur...
- Quels paramètres sont importants pour le déroulement de l'opération?
- Quelle relation entre ces paramètres?
- Comment prédire le résultat sans expérimentation?

7

1. Génie des procédés et génie chimique

- Comment optimiser le fonctionnement du pilote?
- Comment l'automatiser?
- Quels sont les critères importants de l'extrapolation permettant le changement d'échelle?

8

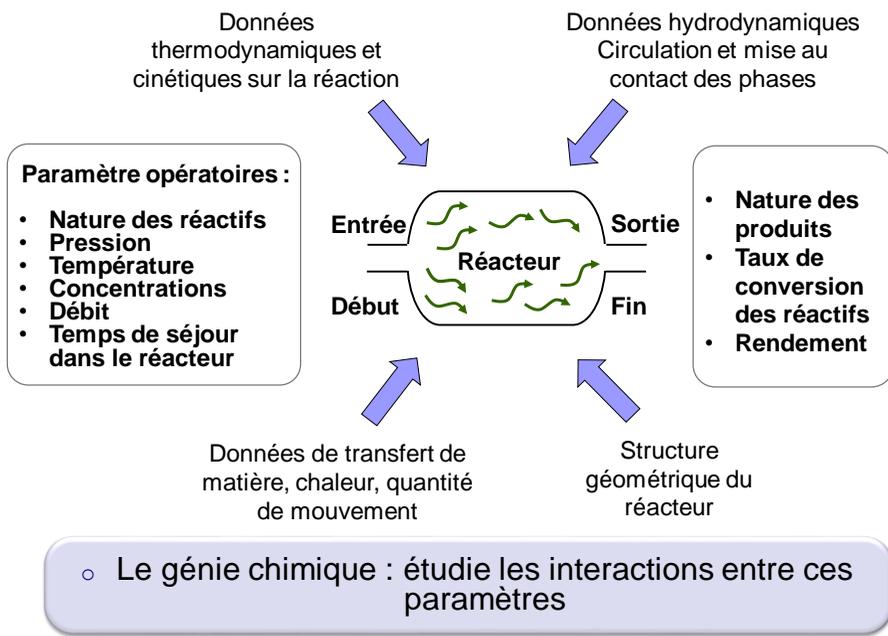
1. Génie des procédés et génie chimique

- Le génie des procédés est la science pour l'ingénieur dont l'objet est la mise en œuvre optimale des procédés de transformations des matières premières en produits fonctionnels

- Le génie chimique est l'une des branches importantes du génie des procédés
- Elle s'intéresse aux méthodes de mise en œuvre des transformations chimiques et en particulier aux appareils dans lesquels sont conduites les transformations: les réacteurs

9

1. Génie des procédés et génie chimique



10

1. Génie des procédés et génie chimique

- Le génie chimique est utilisé dans plusieurs disciplines.
- Il étudie :
 - Les transformations :
Chimiques
Physico-chimiques
Biologiques
Physiques...
 - Les transferts de :
La matière,
L'énergie,
La quantité de mouvement.

11

1. Génie des procédés et génie chimique

- Le génie chimique a pour but d'établir des **lois** et des **corrélations** utilisables lors de la transposition ou de l'extrapolation à l'échelle industrielle.

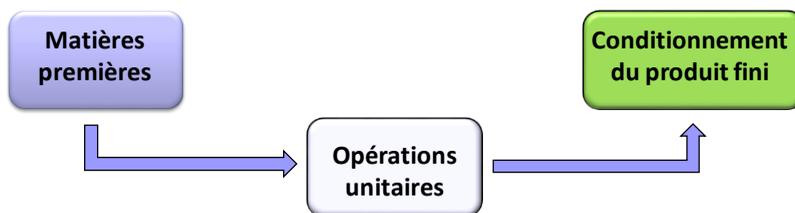
☞ Concept de modélisation, nombres adimensionnels...

12

1. Génie des procédés et génie chimique

Les opérations unitaires :

- Pour transformer les matières premières en produit fini, il est souvent nécessaire de faire appel à une suite coordonnée d'opérations fondamentales distinctes que l'on appelle « Opérations unitaires »



13

1. Génie des procédés et génie chimique

Les opérations unitaires :

Un procédé industriel est donc divisé en plusieurs opérations unitaires qui consistent en général en des opérations de transformations (chimiques, physico-chimiques, biologiques, physiques....)

14

1. Génie des procédés et génie chimique

Classification des opérations unitaires:

- Il existe différentes façons de classer les opérations unitaires
- Voici quelques exemples de classifications
 - **Écoulements :**
 - Transfert de fluides,
 - Vidange d'une cuve...

15

1. Génie des procédés et génie chimique

Classification des opérations unitaires :

- **Transfert :**
 - Thermique,
 - de matière,
 - d'énergie.
- **Changement de phase :**
 - Dissolution,
 - fusion,
 - évaporation,
 - cristallisation,
 - condensation,
 - sublimation...

16

1. Génie des procédés et génie chimique

Classification des opérations unitaires :

Transformation physique :

- Réduction de la taille des objets :
 - Solide/solide : Broyage,
 - Liquide/liquide : Emulsions,
 - Gaz/liquide : Bullage...

- Augmentation de taille des objets :
 - Granulation
 - agrégation,
 - enrobage,
 - coalescence...

17

1. Génie des procédés et génie chimique

Classification des opérations unitaires :

Transformation physique:

- Perméation :
 - Chromatographie,
 - percolation*...

- Séparation gaz/solide.

**La percolation: Opération qui désigne communément le passage d'un liquide à travers un solide plus ou moins perméable, par exemple dans la préparation du café.*

18

1. Génie des procédés et génie chimique

Classification des opérations unitaires :

Transformation physique:

- Séparation liquide/solide :
 - Filtration classique,
 - séparation membranaire,
 - tamisage,
 - centrifugation,
 - séchage.

19

1. Génie des procédés et génie chimique

Classification des opérations unitaires :

Par transfert :

- Distillation,
- extraction,
- absorption,
- échange d'ions,
- sublimation,
- cristallisation...

Par transport :

- Electrophorèse,
- diffusion,
- sédimentation...

20

1. Génie des procédés et génie chimique

- Les méthodes du génie des procédés s'appliquent à toutes les industries qui font appel à une transformation de la matière.
- Le génie des procédés s'intègre dans les secteurs suivants :
 - Industrie chimique,
 - Industrie agro-alimentaire et bio-industries,
 - Industries pétrolière et pétrochimique,
 - Industrie pharmaceutique,
 - Ingénierie et industries d'équipement,
 - Environnement : traitement de l'eau, de l'air, des déchets,
 - Industries diverses : métallurgie, textile, caoutchouc, verre, papier, ...

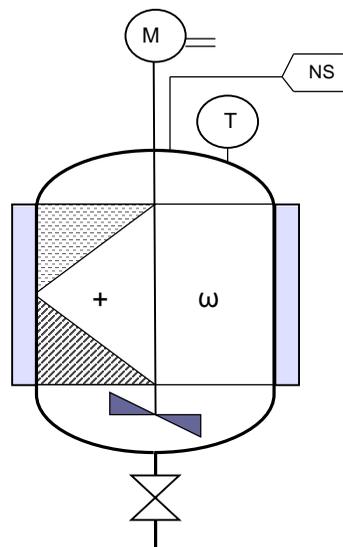
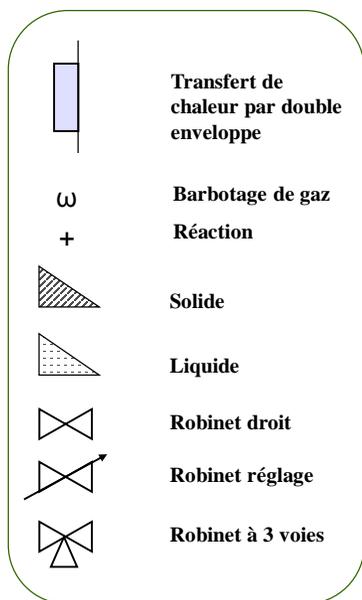
21

2. Représentation symbolique en génie des procédés

- Il n'existe pas de symbolisation universelle.
- Chaque entreprise, chaque bureau d'études a ses standards,
- Cependant, les représentations sont, en général, très proches les unes des autres et vite assimilées.

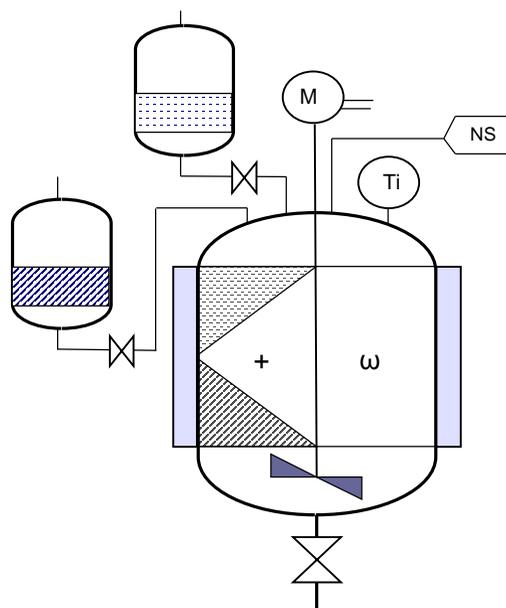
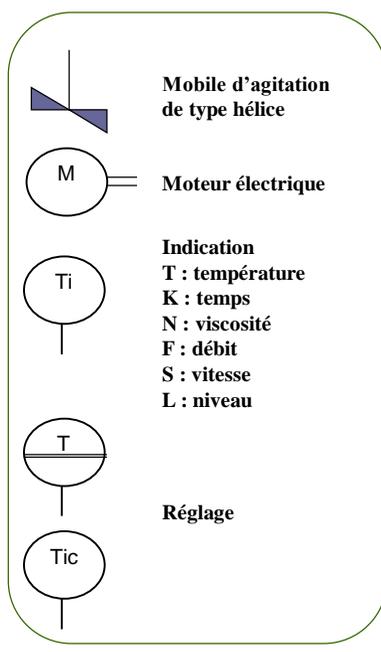
22

2. Représentation symbolique en génie des procédés



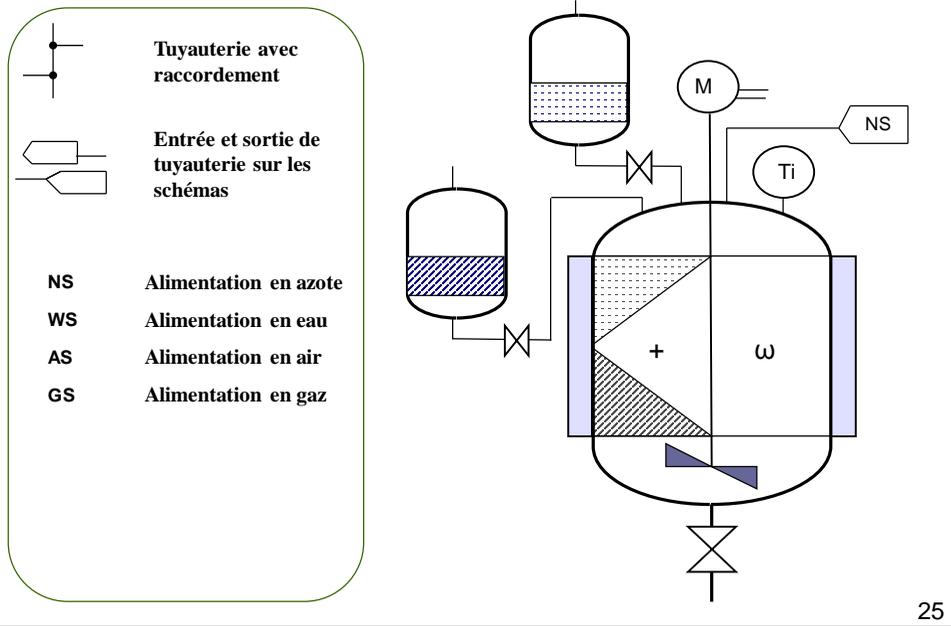
23

2. Représentation symbolique en génie des procédés



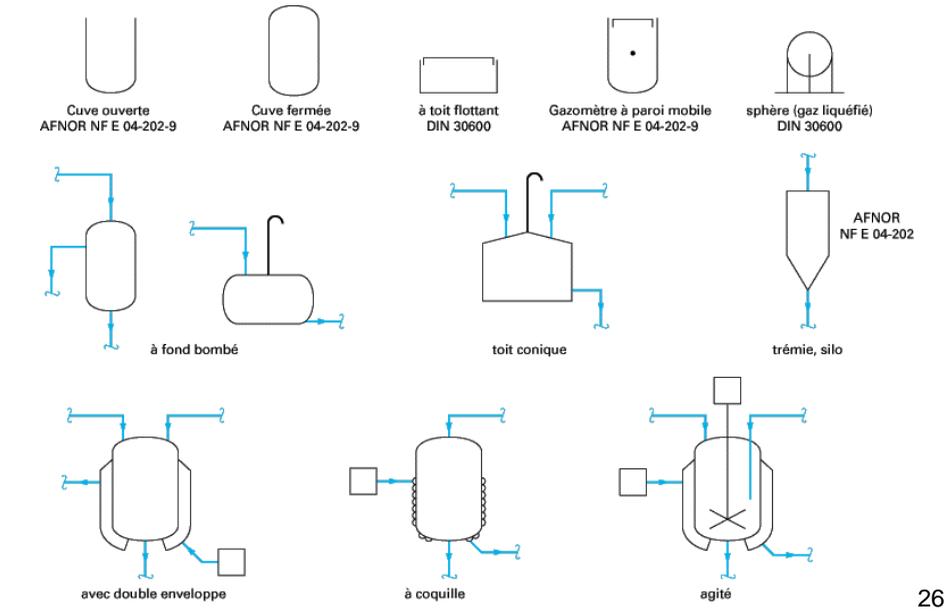
24

2. Représentation symbolique en génie des procédés

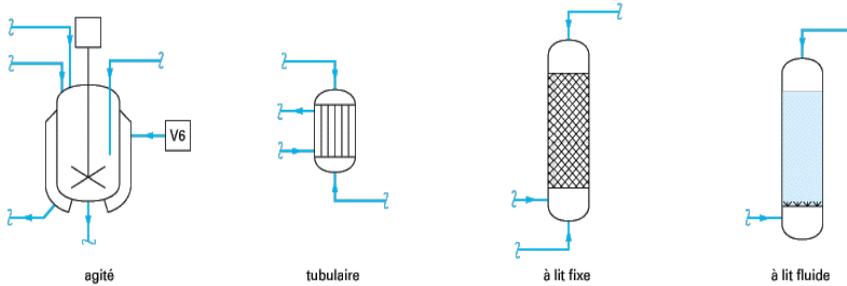


2. Représentation symbolique en génie des procédés

Différents symboles graphiques pour la représentation des bacs et réservoirs



2. Représentation symbolique en génie des procédés



Symboles graphiques pour la représentation des réacteurs

27

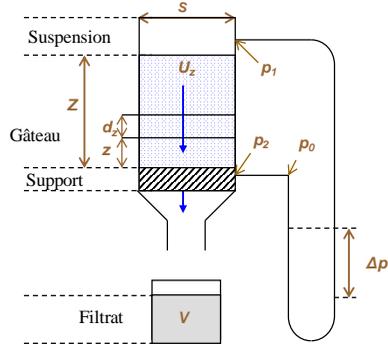
3. Exemple de problématiques résolues par le génie des procédés

28

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

- Différents problèmes peuvent se poser au chercheur et à l'ingénieur en génie des procédés

- Conduire de manière optimale une opération industrielle discontinue.
- Exemple : optimisation d'un cycle de filtration discontinue.



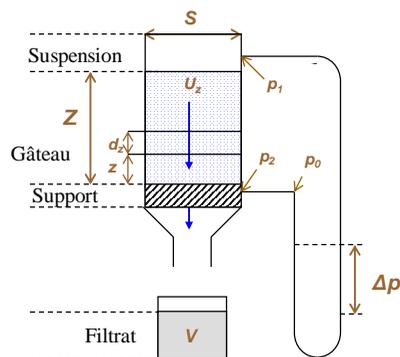
Filtration sur support : Schéma de principe

29

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

- Différents problèmes peuvent se poser au chercheur et à l'ingénieur en génie des procédés

- Exemple : optimisation d'un cycle de filtration discontinue.
 - Dans quelles conditions pouvons-nous obtenir un débit maximal du filtrat?
 - Quel est le temps minimal pour avoir un maximum de volume de filtrat?
 - Si je souhaite récupérer le gâteau de filtration: Quel est le temps minimal pour avoir une masse importante du gâteau de filtration?



Filtration sur support : Schéma de principe

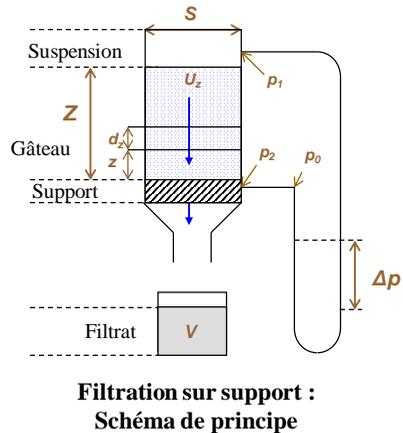
30

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

- Différents problèmes peuvent se poser au chercheur et à l'ingénieur en génie des procédés

- Conduire de manière **optimale** une opération industrielle discontinue.
- Exemple : optimisation d'un cycle de filtration discontinue.

- ☞ Trouver les paramètres qui permettent un fonctionnement optimal du filtre.
- ☞ Etablir les lois et les relations entre ces paramètres



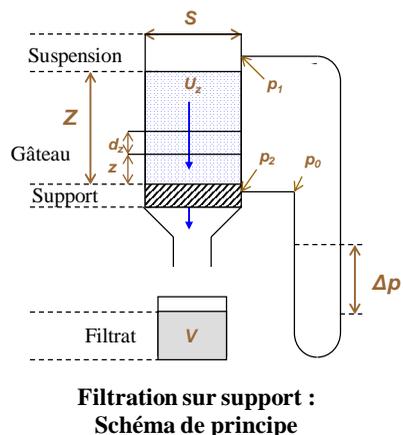
31

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

- Différents problèmes peuvent se poser au chercheur et à l'ingénieur en génie des procédés

- Conduire de manière **optimale** une opération industrielle discontinue.
- Exemple : optimisation d'un cycle de filtration discontinue.

- **Transposer** une opération discontinue en opération continue.
 - **Innovation**



32

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

- Différents problèmes peuvent se poser au chercheur et à l'ingénieur en génie des procédés

Problèmes de sécurité

- Réfléchir aux **risques** liés à un nouveau procédé et respecter les conditions de sécurité propres à chaque procédé.
- Analyse des risques liés au développement d'un nouveau procédé.

33

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

- Différents problèmes peuvent se poser au chercheur et à l'ingénieur en génie des procédés

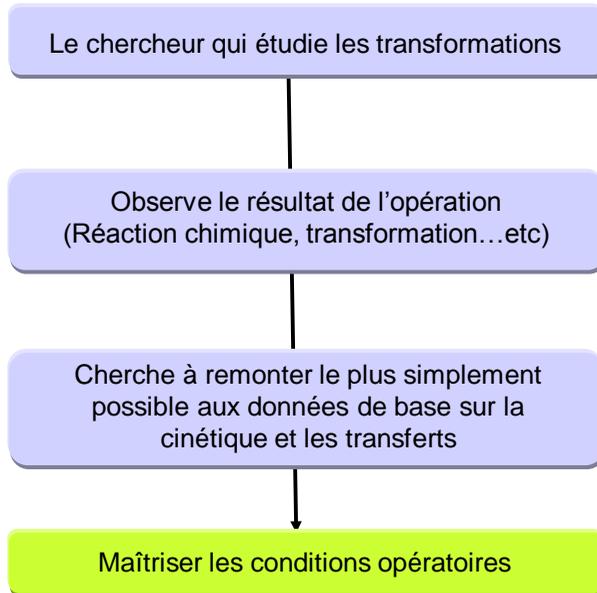
Problématiques de scale-up

- Concevoir un réacteur assurant une production **industrielle** de spécifications données, à partir d'une transformation reconnue possible au **laboratoire**

- **Problème d'extrapolation**

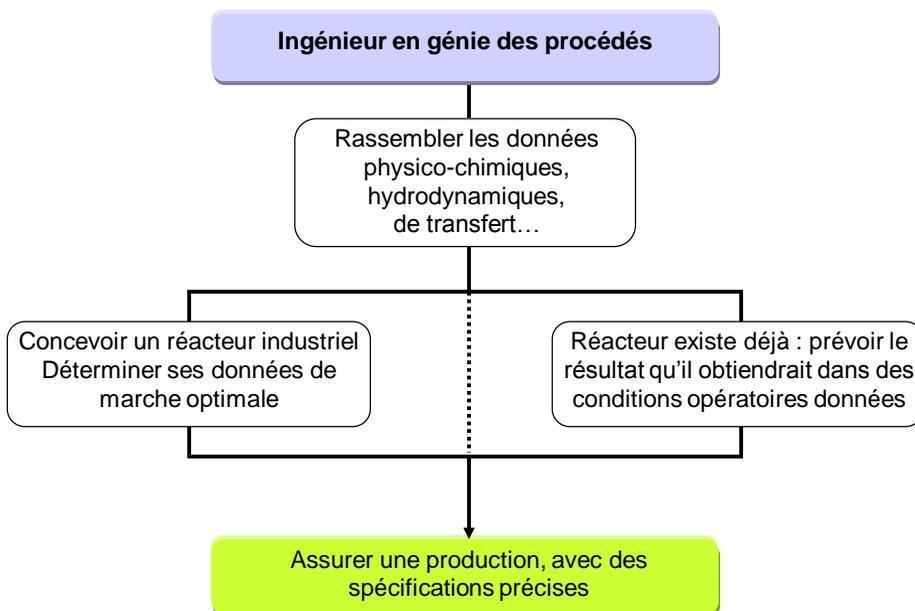
34

3. Problématiques résolues par le génie des procédés



35

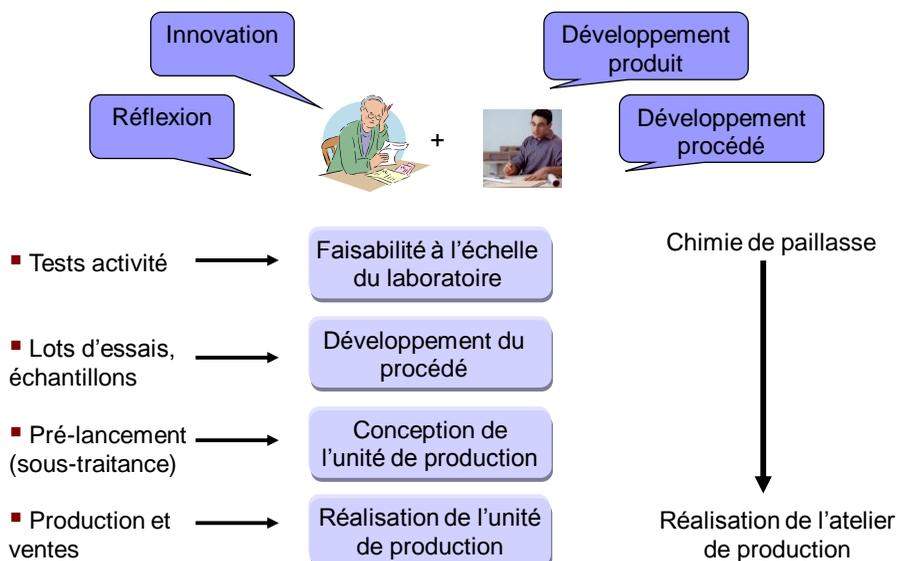
3. Problématiques résolues par le génie des procédés



36

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

Le processus d'industrialisation



37

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

- Différents problèmes peuvent se poser au chercheur et à l'ingénieur en génie des procédés

☞ Problématiques de scale-up

- Définir les critères d'extrapolation permettant le changement d'échelle
- Optimiser un réacteur existant, optimiser son fonctionnement, l'automatiser

38

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

- L'extrapolation est l'art de passer du laboratoire à l'atelier industriel
- Exemple d'une extrapolation d'un facteur 100

Possibilité de refaire la production 100 fois à petite échelle

Augmentation de la taille des appareils

Produits à très haute valeur ajoutée, Certaines productions d'hormones sont faites dans ces conditions.

Produits à plus faible valeur ajoutée.

39

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

Echelle pilote $\xrightarrow{\text{But du scale-up}}$ Echelle industrielle
Reproduire les résultats

Similitude géométrique

→ Rapports des dimensions géométriques

Similitude dynamique

→ Rapports des forces

Similitude cinématique

→ Rapports de vitesses en des points précis

Similitude chimique

→ Les concentrations sont les mêmes aux 2 échelles

Similitude thermique

→ Les températures sont les mêmes aux 2 échelles

40

3. Problématiques résolues par le génie des procédés

- Selon la grandeur conservée invariante d'une échelle à l'autre, le principe de similitude n'est pas toujours respecté pour les autres grandeurs caractéristiques
- S'il y a incompatibilité entre critères il serait nécessaire de déterminer les grandeurs dont l'influence est prépondérante sur le phénomène étudié
- Il faut vérifier que les grandeurs sont compatibles avec le bon fonctionnement du procédé