



Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, Algérie
Faculté de SNV - Département d'agronomie
Master 1 (SAAQ)



Introduction to Process Engineering

Introduction au Génie des Procédés



Dr. Meroufel Bahia

Introduction

QU'EST-CE QUE LE GÉNIE DES PROCÉDÉS ?

Un peu d'étymologie avant de se plonger dans la signification de cette discipline de **génie des procédés**.

On trouve le mot « **Génie** » :

Le terme "génie", sous l'influence du terme ingénieur a pris ultérieurement une signification supplémentaire autour de la notion d'ingénierie : génie militaire, génie des Ponts et chaussées...

"Génie" désigne actuellement le savoir-faire relatif à une discipline...

Le terme "**procédé**" : un procédé est une méthode, une technique utilisée pour la réalisation d'une tâche, ou la fabrication d'un matériau ou d'un produit fini.



Introduction

Le **génie des procédés** est **l'application d'une technique** (génie) **à un ou plusieurs processus** (procédés)

Le **génie des procédés** désigné pour le secteur de:

La chimie (génie chimique),

La biologie (génie biologique),

La microbiologie (génie fermentaire, génie génétique),

La biochimie (génie enzymatique)...

Le génie des procédés est un levier essentiel pour répondre aux enjeux industriels et sociétaux de demain.

Introduction

QU'EST-CE QUE LE GÉNIE DES PROCÉDÉS ?

Le Génie des Procédés est la discipline qui concerne la conception et le control des procédés physiques, chimiques, biologiques et biochimiques de transformation de la matière et de l'énergie.

Ces transformations sont utilisées pour produire des substances utiles ou de l'énergie.

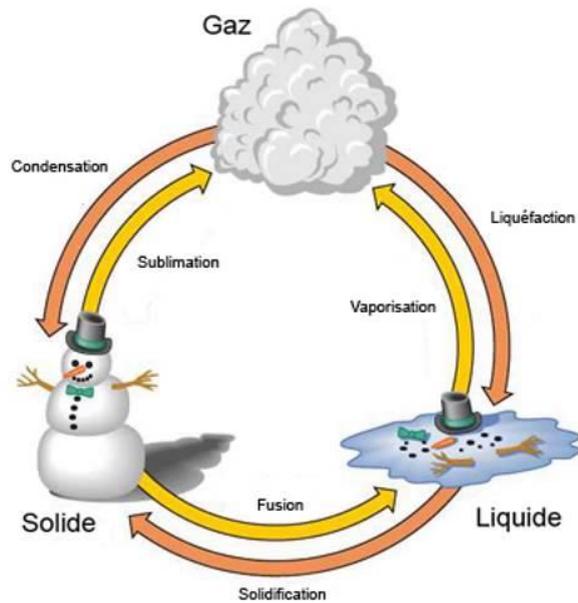
Aussi en génie de l'environnement pour traiter les eaux, les déchets, etc.

Le génie des procédés concerne environ un tiers de l'activité industrielle.

Introduction

Transformation de la matière

Les transformations de la matière



**L'eau existe sous forme de trois états:
glace, eau, vapeur d'eau**

N.B

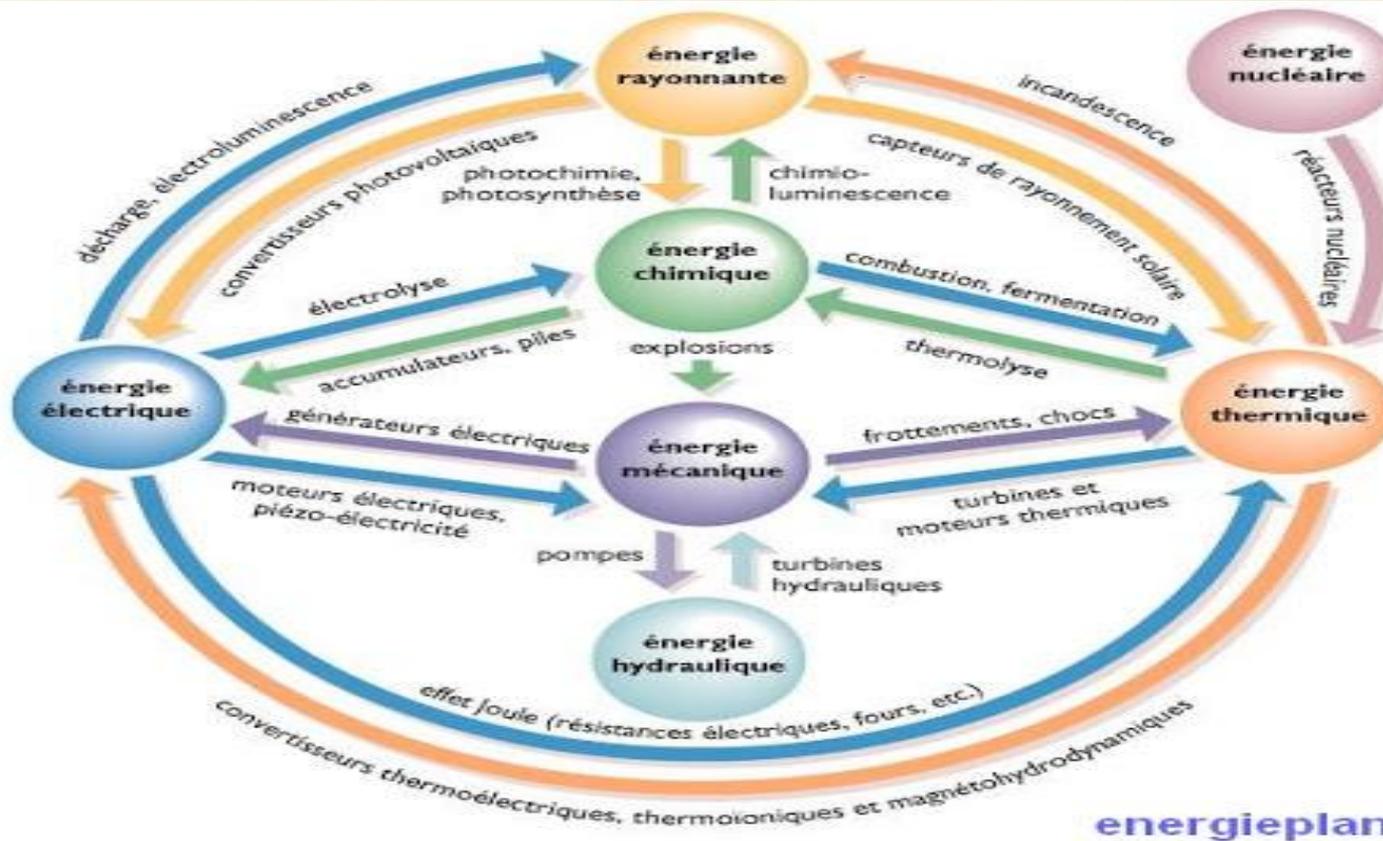
• L'eau se trouve sous la forme de l'état liquide à température ordinaire.

• la matière comme l'eau se transforme d'un état à l'autre par l'élévation de température ou le refroidissement.

Introduction

Transformation de l'énergie

Dans notre monde moderne, nous consommons énormément d'énergie interne dans les réactions chimiques (combustion) ou nucléaires. Nous transformons cette énergie dans les moteurs thermiques en énergie mécanique. Nous l'utilisons sous cette forme ou, après transformation, sous forme d'énergie électrique.



Introduction

Transformation de l'énergie

Exemple: Comment fonctionne une éolienne ?



Introduction

Transformation de l'énergie

Sources d'énergie:

Une source d'énergie désigne tous les phénomènes à partir desquels il est possible de retirer de l'énergie. Ces sources d'énergie peuvent être:

- Naturelles (on parle de sources d'énergie primaires)
- Artificielles (on parle de sources d'énergie secondaires).

L'énergie primaire est l'énergie disponible dans l'environnement et directement exploitable **sans transformation**.

Étant donné les pertes d'énergie à chaque étape de transformation, stockage et transport, la quantité d'énergie primaire est toujours supérieure à l'énergie finale disponible.

Introduction

Transformation de l'énergie

Les sources d'**énergie primaire** sont multiples :

- le pétrole brut ;
- le gaz naturel ;
- les combustibles solides (charbon, biomasse) ;
- le rayonnement solaire ;
- l'énergie hydraulique ;
- l'énergie éolienne ;
- l'énergie tirée des combustibles nucléaires.

Il s'agit donc essentiellement d'énergie thermique et d'énergie mécanique.

Introduction

Transformation de l'énergie

Ces sources d'énergie peuvent être **renouvelables** ou **non renouvelables**.

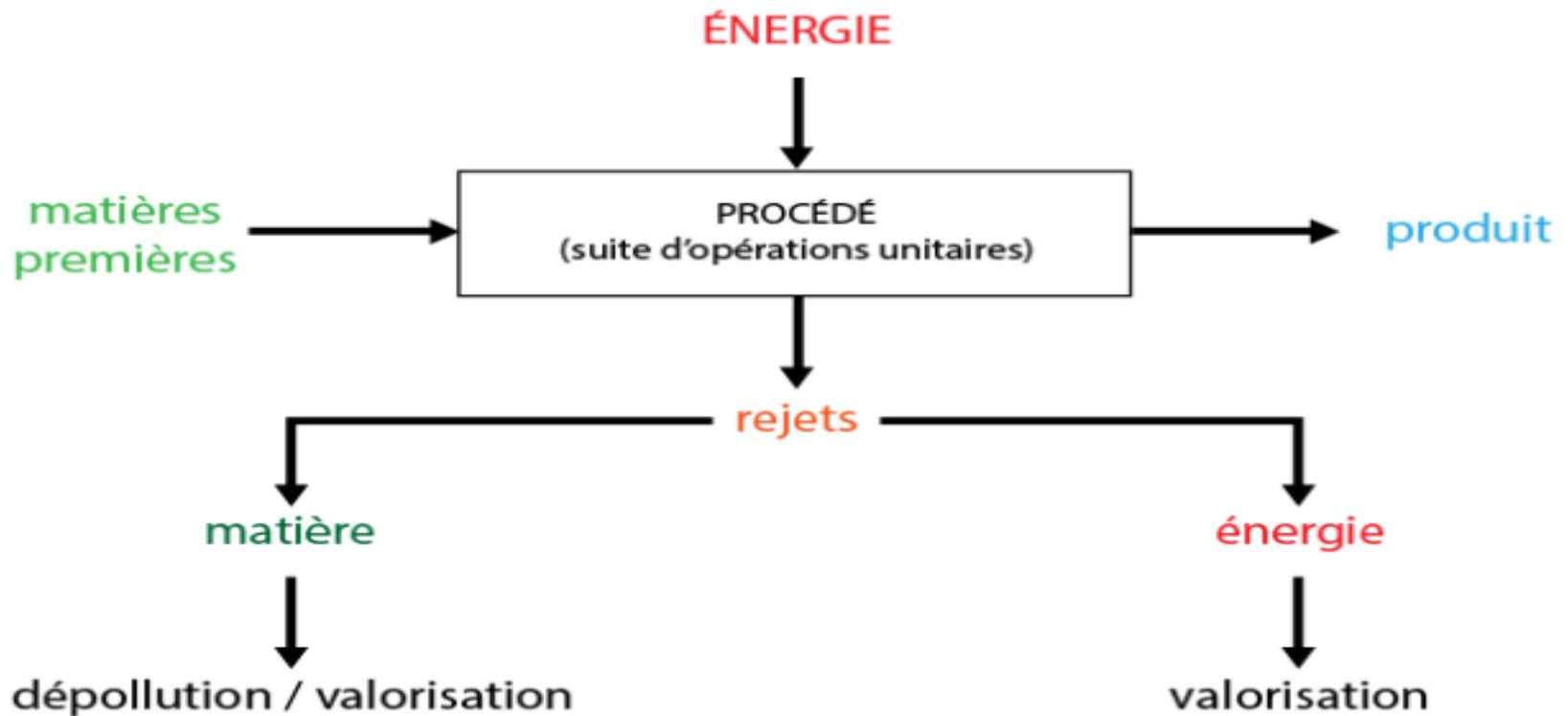
Les sources d'énergie **non renouvelables** sont les sources d'énergie qui disparaîtront un jour car leurs stocks sur la Terre sont limités. Il s'agit des énergies **fossiles** et **fissiles**.

Les énergies d'origine **fossile** sont celles provenant de la décomposition de la matière organique, essentiellement végétale, au cours de millions d'années. Il s'agit du charbon, du pétrole, du gaz naturel...

L'énergie **fissile** est celle issue de la fission d'un noyau atomique (en général de l'uranium).

Les sources d'énergie **renouvelables** dépendent d'éléments que la nature renouvelle en permanence. Elles sont considérées comme inépuisables : le soleil, l'eau, le vent, la chaleur, le bois, la biomasse.

Introduction



Introduction

Hier...



Art culinaire
Teinture des tissus
Distilleries

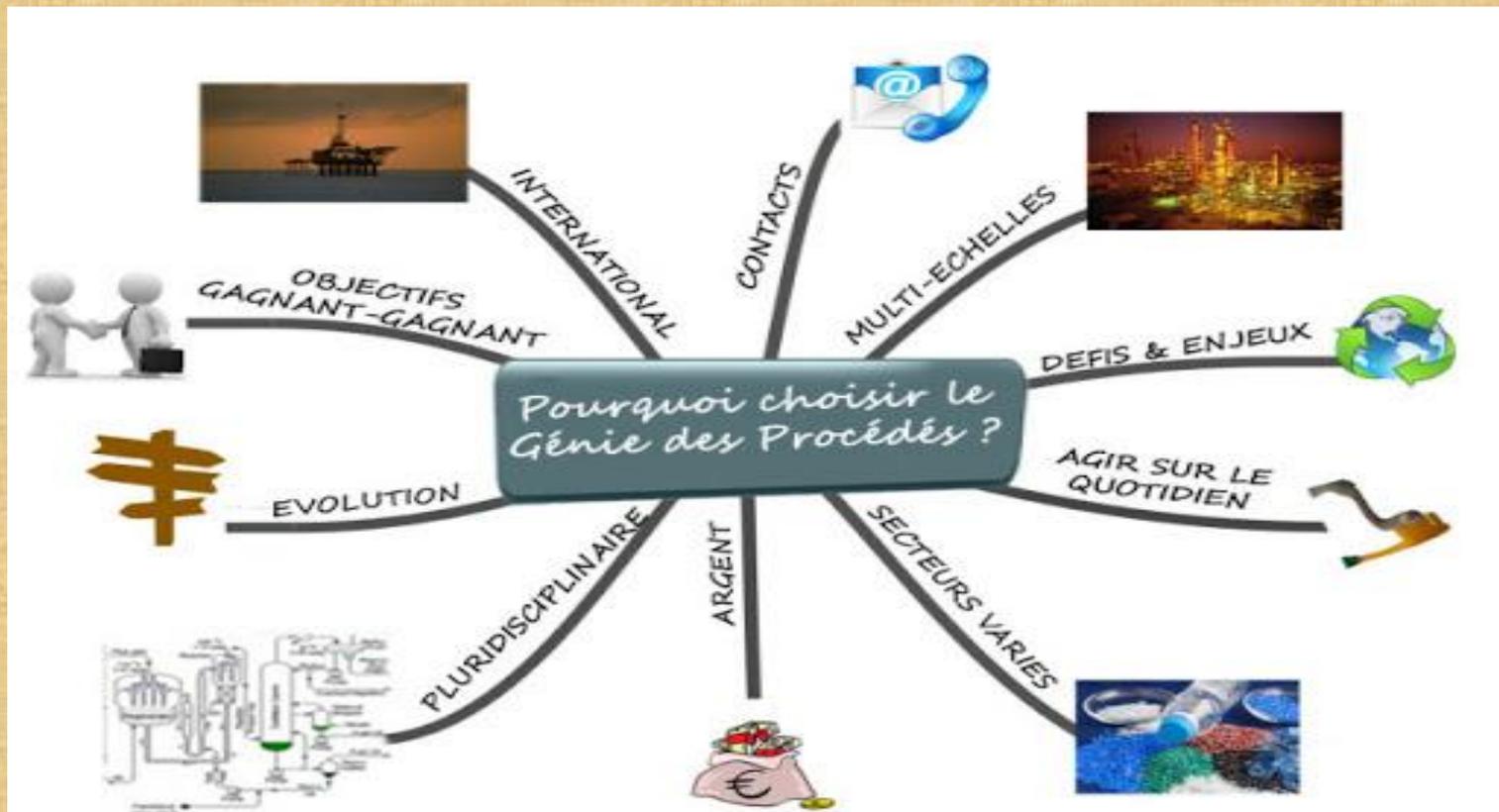
Aujourd'hui...



Science du passage à l'échelle industrielle

Pourquoi le génie des procédés ?

Le génie des procédés offre une méthodologie originale pour développer des procédés plus efficaces en favorisant l'émergence de nouveaux matériaux, l'utilisation de ressources renouvelables, le développement des biotechnologies, la valorisation des déchets...



Contraintes et solutions

Le génie des procédés propose des solutions techniques répondant aux contraintes suivantes:

- **Robustesse:** Pour répondre à cette contrainte, il est possible d'utiliser des matériaux résistants et durables pour la construction de l'objet technique. Par exemple, l'utilisation de matériaux composites. Il est également possible d'ajouter des renforts structurels pour améliorer la résistance de l'objet technique aux chocs et aux vibrations.
- **Flexibilité des procédés de transformation :** Pour répondre à cette contrainte, il est possible d'utiliser des procédés de fabrication flexibles qui permettent de produire différents types d'objets techniques avec un même équipement.

Contraintes et solutions

- **Viabilité économique** : Cela peut être réalisé en utilisant des matériaux peu coûteux et en optimisant les processus de fabrication pour réduire les coûts. Il est également important de prendre en compte les coûts d'entretien et de réparation lors de la conception de l'objet technique.
- **Maîtrise de la sécurité et des impacts environnementaux** : Il est important d'utiliser des matériaux et des procédés de fabrication qui sont respectueux de l'environnement. Il est également important d'intégrer des dispositifs de sécurité dans la conception de l'objet technique pour minimiser les risques pour les utilisateurs.
- **Sobriété énergétique** : Il est possible d'utiliser des technologies économes en énergie pour la production et l'utilisation de l'objet technique. Par exemple, l'utilisation de moteurs électriques à haute efficacité énergétique peut réduire la consommation d'énergie.

Issues and areas of application

Enjeux et domaines d'application

Les enjeux du génie des procédés sont à la fois **industriels** et **sociétaux**:
il s'agit de tendre vers une industrie plus propre, une société **zéro déchet**
(zero waste) et une **économie durable** (Sustainable Economy).



Domaines d'application (areas of application)

Les domaines d'application du génie des procédés sont nombreux: environnement, **agroalimentaire**, biotechnologie, pharmacie-santé, chimie, matériaux, énergie, nucléaire, pétrole, industrie textile, automobile, aéronautique ou encore exploration spatiale.



Domaines d'application

Les spécialistes du génie des procédés exercent des travaux à la fois dans les domaines de la recherche et du développement.

On les retrouve également en bureaux d'études, en production, gestion des équipements et dans les activités technico-économiques.



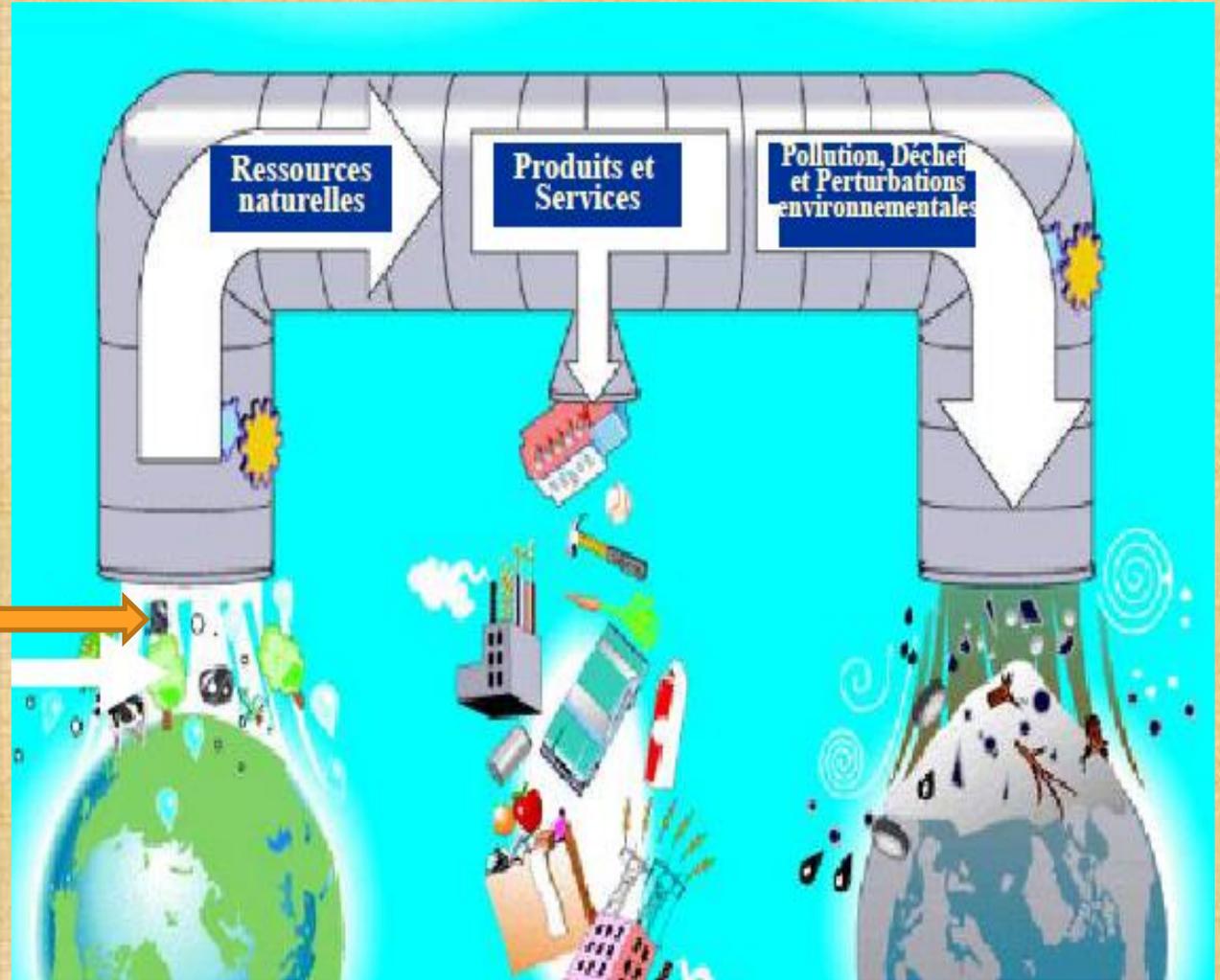
Ce large champ d'investigation et les approches systémiques développées en génie des procédés lui permettent de contribuer au défis inscrits dans la Stratégie Nationale pour le développement et de la Recherche en Algérie.



Génie des Procédés Moderne Vert

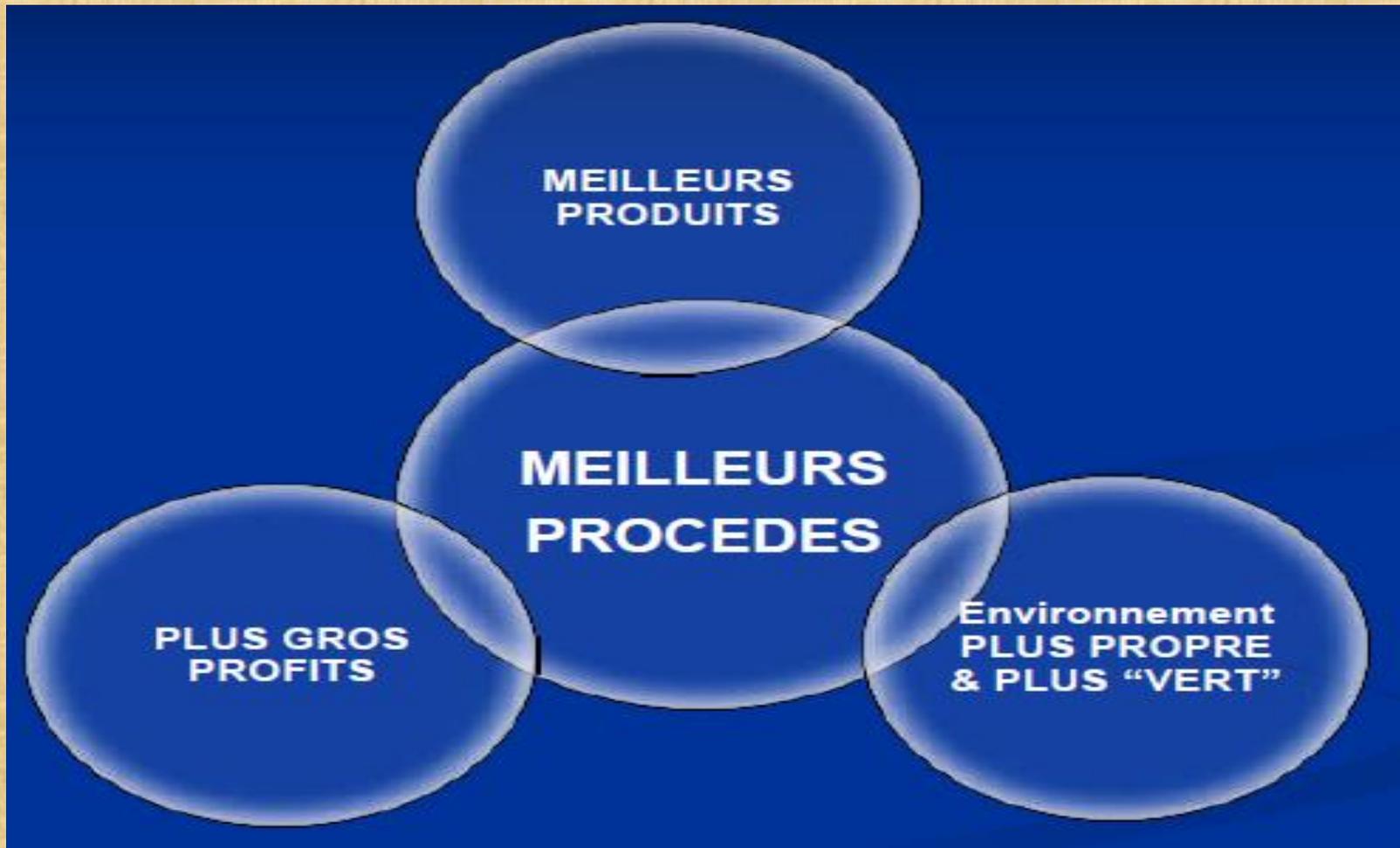
DEVELOPPEMENT NON DURABLE (NON-SUSTAINABLE MANKIND)

Seulement
25 %poids de ce
qui entre dans le
tuyau sort sous
forme de
produits et
services



Génie des Procédés Moderne Vert

Pour un comportement **développement durable**,
l'approche du Génie des Procédés doit donc se focaliser sur...



Génie des Procédés Moderne Vert

Dans l'industrie de production et plus particulièrement dans l'industrie chimique existe un besoin urgent de procédés plus acceptables du point de vue de la préservation de l'environnement. Cette tendance vers ce qui est maintenant connu sous le nom de "green processes" nécessite une évolution des concepts traditionnels d'efficacité des procédés vers une évaluation intégrant la valeur économique de l'élimination des déchets à la source. La "chimie verte" est d'abord préventive, c'est-à-dire qu'elle privilégie la prévention de la pollution par rapport à l'élimination des déchets.

L'introduction des procédés propres a trois objectifs distincts mais complémentaires :

- consommer moins de matière première,
- consommer moins d'énergie,
- générer le minimum de déchets et d'effluents.

Génie des Procédés Moderne Vert

Une technologie propre peut être atteinte par trois méthodes différentes et complémentaires :

1. l'optimisation du procédé existant,
2. la substitution de technologies par d'autres moins polluantes,
3. la modification radicale du procédé.

Défis à relever par les chercheurs en génie des procédés

1. Usine et les procédés du futur

L'usine et les procédés du futur, quelle que soit leur échelle, devront être innovants, compétitifs, performants, sûrs et attractifs. L'usine devra être créatrice de valeur et d'emplois, connectée avec ses collaborateurs, ses machines de production, ses prestataires, son territoire. L'usine sera conçue pour répondre aux défis économiques, technologiques, organisationnels, environnementaux et sociétaux.

Défis à relever par les chercheurs en génie des procédés

2. Energie

Le développement de nouveaux vecteurs énergétiques, notamment le **solaire** concentré, les **bioénergies** (procédés thermochimiques et biologiques), les **piles à combustible** et les procédés liés à la production et **l'utilisation de l'hydrogène** est un axe important du Génie des Procédés.

Défis à relever par les chercheurs en génie des procédés

3. Valorisation des déchets et économie circulaire

Dans un contexte de **protection de l'environnement**, la **maintenance**, la **réparation**, le **recyclage** et la **réutilisation** devrait devenir la règle. La création de circuits courts possibles et rentables permet aux entreprises de fabriquer à la demande avec une réactivité et une personnalisation accrues.



Défis à relever par les chercheurs en génie des procédés

4. Ressources renouvelables et nouvelles ressources

Le génie des procédés doit répondre aux demandes d'une économie durable. Les industries de procédé vont substituer progressivement de nouvelles ressources aux matières premières d'origine fossile traditionnelles.

Pour les secteurs de la chimie, de l'énergie et des matériaux, il s'agit de faire face à la raréfaction des ressources non renouvelables et de réduire les impacts environnementaux et l'empreinte carbone en particulier, en substituant biomasse et matériaux recyclés aux matières premières pétrolières.

Cette transition vers une bio-économie aura des conséquences importantes sur les procédés de fabrication et l'organisation des filières industrielles de production.

Défis à relever par les chercheurs en génie des procédés

5. Alimentation du futur

L'alimentation du futur est un véritable défi environnemental, un objectif humanitaire et une gageure scientifique. Il s'agit de satisfaire les besoins croissants qu'entraîne l'augmentation de la population mondiale en développant de nouvelles habitudes de consommation et des aliments alternatifs d'origine végétale, animale ou minérale.

Les procédés de transformation nécessitent aussi d'être considérablement améliorés pour valoriser l'ensemble des produits tout en minimisant l'impact des traitements technologiques sur la biodisponibilité des biomolécules dans les produits finaux.

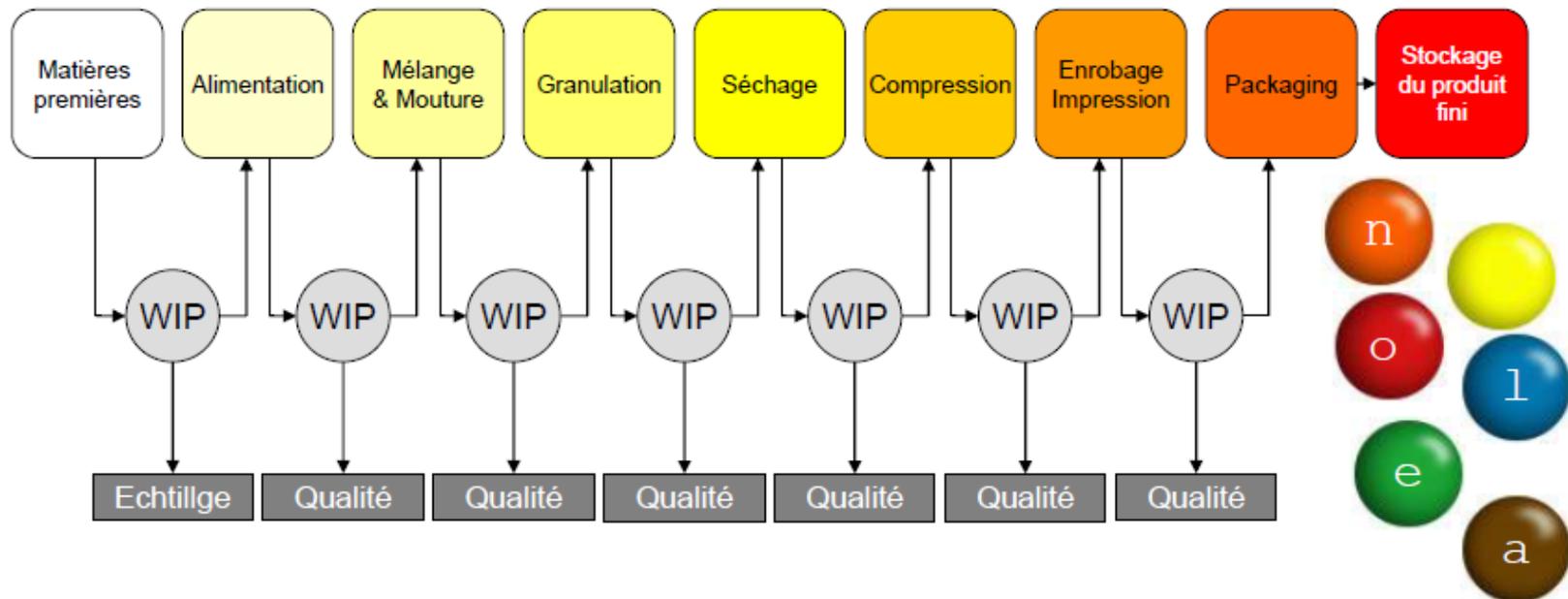
Régimes de fonctionnement des opérations industrielles

Opération discontinue

système fermé (opération batch)

Avantages	Inconvénients
appareillage polyvalent	des temps morts (remplissage, soutirage, préchauffage, ...)
on peut traiter de faibles quantités de matières premières	coût énergétique élevé (chauffage et refroidissement pour chaque charge)
rendement plus élevé	un prix de production élevé

Ligne de production Batch – Flow Chart



WIP : work-in-process ou intervention de l'opérateur

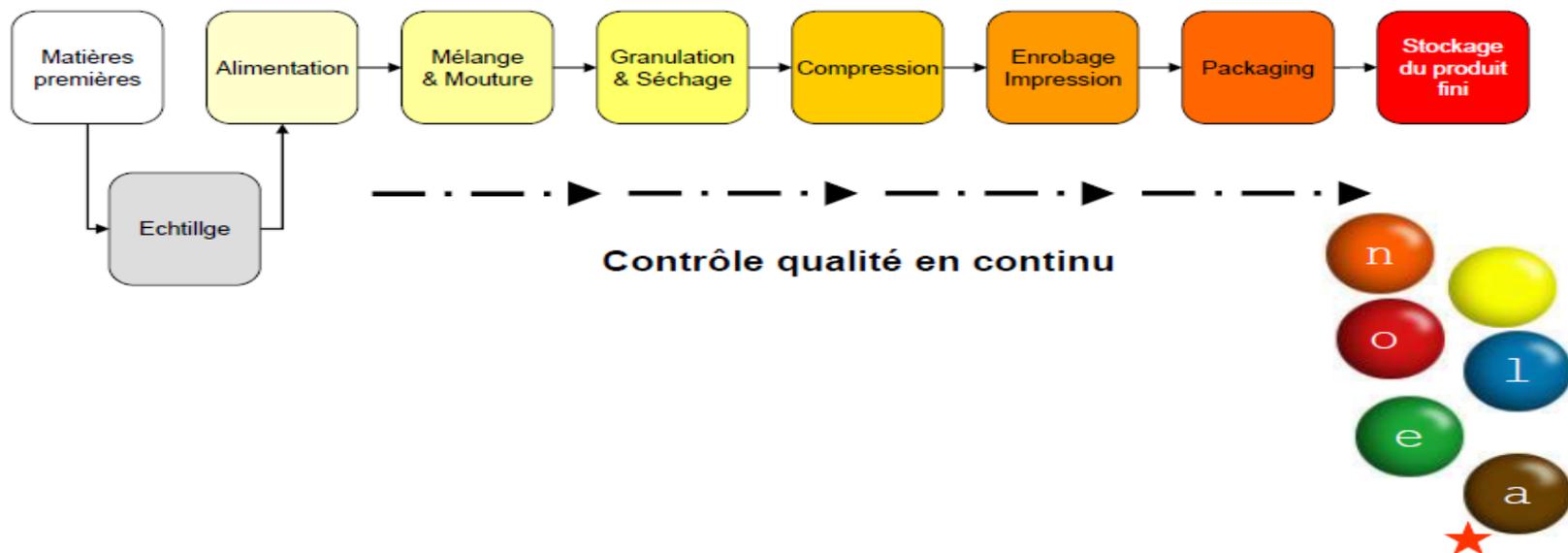
Régimes de fonctionnement des opérations industrielles

Opération continue

système à courants

Avantages	Inconvénients
besoin réduit en personnel	coût des équipements (mesure, contrôle, automatisation : ~ 25 % de l'investissement)
coût de production inférieur à celui d'une opération batch	nécessite une régularité dans la qualité de matières premières (composition, état physique,...)
production en quantité constante	

Ligne de production Continue – Flow Chart

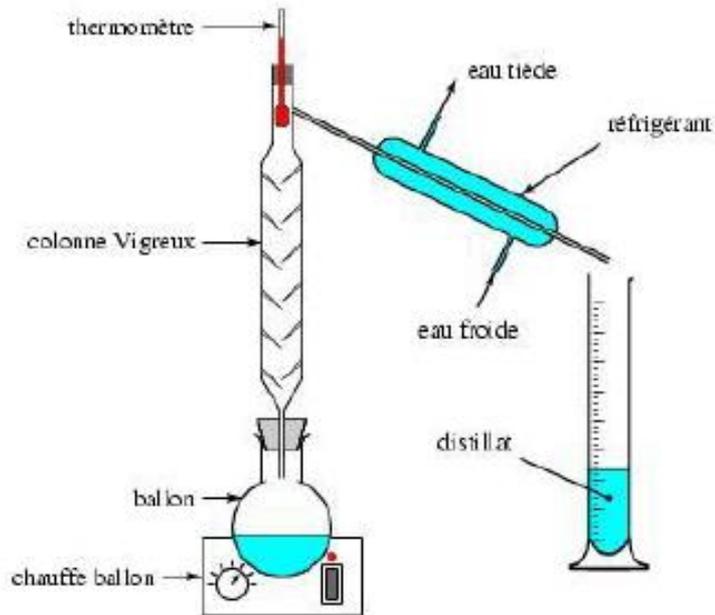


Le scale-up (développement de procédés)

Le scale-up est la méthodologie qui permet de passer d'une petite échelle à une plus grande. Le scale-down est l'opposé du scale-up.

La fonction du développement de procédés est d'extrapoler une ou plusieurs O.U. ou P.U. développés au laboratoire à une échelle industrielle, en prenant en compte des considérations économiques, de sécurité, et environnementales.

Le scale-up (développement de procédés)



**Unité de distillation
Echelle du labo**

Développement
de procédés



**Colonne de distillation
Echelle industrielle**



Le scale-up (développement de procédés)

Laboratoire	Parallélisations (multiplication)	$N = \frac{W_n}{W_0}$	Production
	Agrandissement	$\frac{W_n}{W_0} = \frac{L_n^3}{L_0^3}$	
	Intensification		

où :

N : nombre d'unités

W_n : capacité de production nouvelle

W_0 : capacité de production initiale

L_n : longueur de l'unité de production nouvelle

L_0 : longueur de l'unité de production initiale

Il n'est pas possible de conserver toutes ces similitudes (géométriques, hydrodynamiques, thermiques, chimiques, ...) constantes lors du scale-up/scale-down. Chaque scale-up sera spécifique au problème. Chaque situation nécessitera une solution « sur mesure ».

Génie des procédés alimentaires

Objectifs

➤ Transformation.

Fabrication des produits alimentaires comestibles à partir d'ingrédients bruts relativement non comestibles

➤ Stabilisation.

Conserver les aliments durant les périodes de grande disponibilité pour la consommation hors saison

Génie des procédés alimentaires

Principes

L'industrie alimentaire est basée sur 4 **principes**:

- de **transformer** les produits par cuisson, fermentation, etc.;
- D'**extraire**, séparer, purifier les constituants des produits naturels (sucrierie, huilerie, beurrerie, etc.);
- D'effectuer des **mélanges** pour obtenir les goûts et/ou les textures voulues (par exemple, en biscuiterie, charcuterie, etc.).
- De **stabiliser** les produits de l'agriculture et de la pêche (par séchage, traitements thermiques ou frigorifiques, salage, fumage, confisage, etc.);

Opérations Unitaires

Le **génie des procédés** fait appel à un concept important : **les opérations unitaires**.

De la matière première au conditionnement du produit fini, toute production chimique ou biochimique fait appel, quelle que soit l'échelle, à une **suite coordonnée d'opérations fondamentales** distinctes et indépendantes du procédé lui-même que l'on appelle opérations unitaires.

Ces opérations unitaires sont regroupées dans de grandes étapes :

- préparation, conditionnement et acheminement des matières premières (réactifs) ;
- transformation chimique ou biochimique des réactifs en produits ;
- séparation, purification et conditionnement des produits.

Opérations Unitaires

Types d'opérations

Six opérations unitaires utilisées généralement dans les procédés industriels.

1. Mélange
2. Séparation
3. Transfert de chaleur
4. Transfert de matière
5. Ajustement de la taille
6. Ecoulement

Opérations Unitaires

Types d'opérations

En plus des opérations unitaires «de nature physique», les **opérations chimiques et biochimiques** sont également importantes dans la transformation de plusieurs aliments...

Il s'agit des :

- Réactions enzymatiques et des fermentations
- Additions chimiques (conservateurs, arômes, colorants, etc.)

Procédés Unitaires

Etape simple, spécifique et identifiable dans la fabrication d'un produit

Tout système de production nécessite une combinaison de procédés unitaires pour transformer la matière première en produit fini.

Exemples



*Réception
de la matière première*



Tri, pesée



Cuisson



Mélange et combinaison



Dépôt



assemblage

Procédés Unitaires

Quelques procédés unitaires

- Filtration
- Nettoyage
- Epluchage
- Tranchage
- Râpage
- Concentration
- Séchage
- Enrobage
- Evaporation
- Fumage/salage
- Fermentation
- Chauffage/ Réfrigération
- Mélange
- Tamisage
- Cuisson

Procédés Unitaires

Principe

Plusieurs procédés unitaires consistent en une combinaison de plus d'une opération unitaire et/ou des opérations chimiques ou biochimiques .../...

Procédés unitaires combinant plusieurs opérations unitaires:

➤ Filtration

Ecoulement
Séparation

➤ Evaporation

Transfert de chaleur
Transfert de matière

➤ Pasteurisation

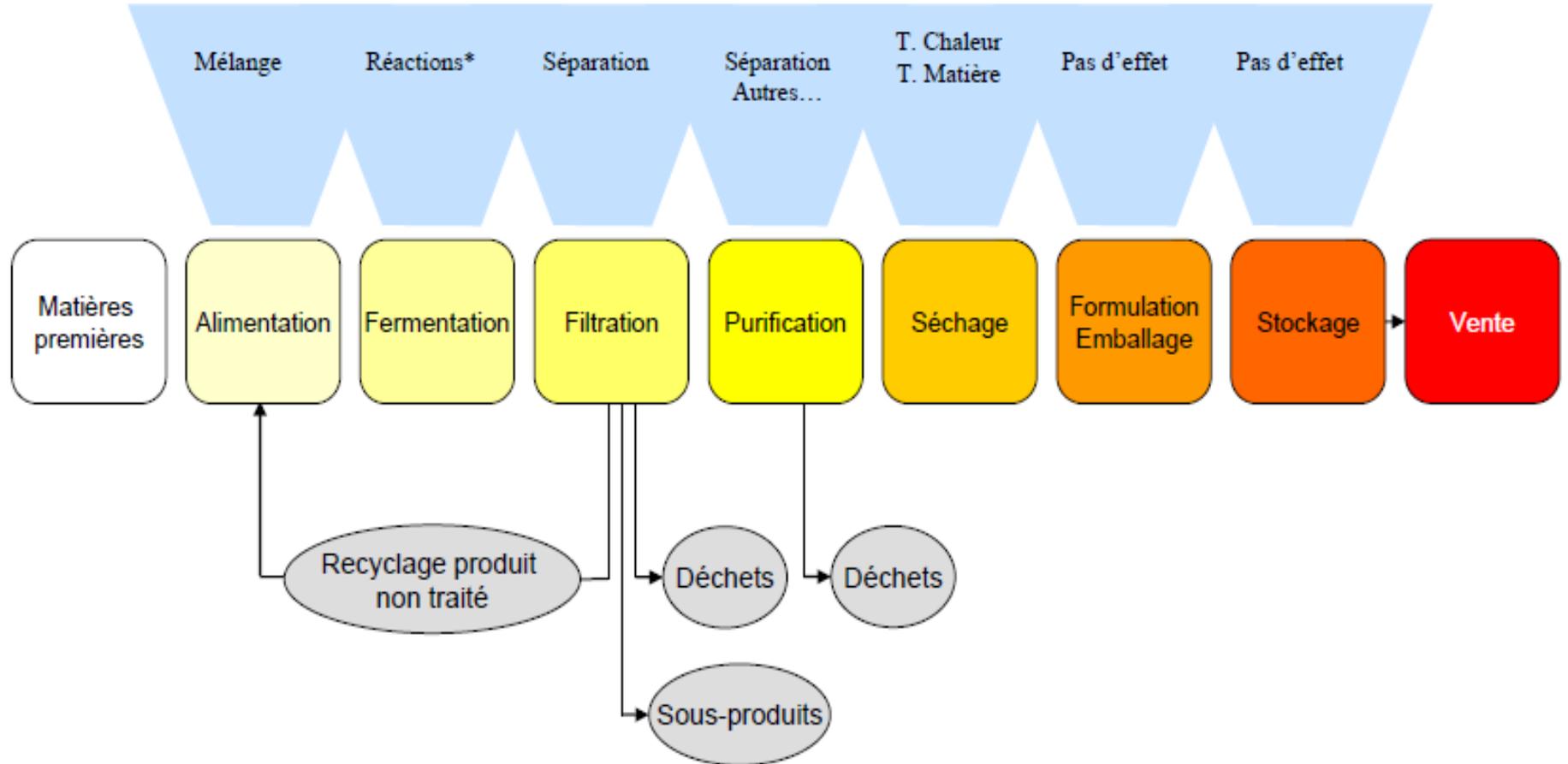
Ecoulement
Transfert de chaleur

➤ Caillage en fromagerie

Mélange (enzyme ou bactéries)
Transfert de chaleur
Réactions enzymatiques ou fermentation
Augmentation de taille
Transfert de masse
Séparation

Procédés Unitaires

Principe



Procédés Unitaires

Principe

Exemples d'opérations et de procédés unitaires des industries alimentaires

Opération unitaire/principe	Procédé unitaire	Exemple de produits
Ajustement de la taille	Hachage, broyage, tranchage, râpage, moulage	Produits solides
	Découpage	Pièces de viandes, poissons, légumes, fruits
Séparation	Démontage	Carcasses de viande
	Plumage, écaillage	Volaille, poissons
	Éboutage	Haricots verts
	Nettoyage, épluchage	Fruits, légumes
	Triage, calibrage	Fruits, légumes
	Tamisage, criblage	Graines
	Déconditionnement	Contenant/contenu
Mélange	Décantation, centrifugation, filtration, extraction	Mélanges solides-liquides, liquides-liquides
	Agitation, malaxage	pâtes, crèmes glacées
Transfert de chaleur	Cuisson	Pain, biscuits, pièces de viandes
	Appertisation	Boîtes de conserves
	Pasteurisation, stérilisation	lait
	Réfrigération, congélation, surgélation	carcasses
	Grillage	Tranches de pain
	Evaporation, séchage, atomisation	Lait en poudre
Ecoulement	Pompage	Aliments liquides
	Pasteurisation	Aliments liquides en échangeur de chaleur
Transfert de matière	Salage, fumage	Jambons, fromages
	Extraction, distillation	Huiles, spiritueux
	Evaporation	Jus concentrés
Réactions	Biologiques et enzymatiques	Charcuterie, pain, fromages, yaourts
Opérations mécaniques	Manutention, pesée, transport, etc	Tout type de produit
Assemblage, conditionnement	Enrobage	Confiserie, barres
	Remplissage des contenants	Produits divers
	Fermeture, sertissage des contenants	Produits divers
	Étiquetage des contenants	Produits divers
	Encartonnage des contenants	Produits divers



Références

➤ <https://tech-alim.univ-lille.fr>