

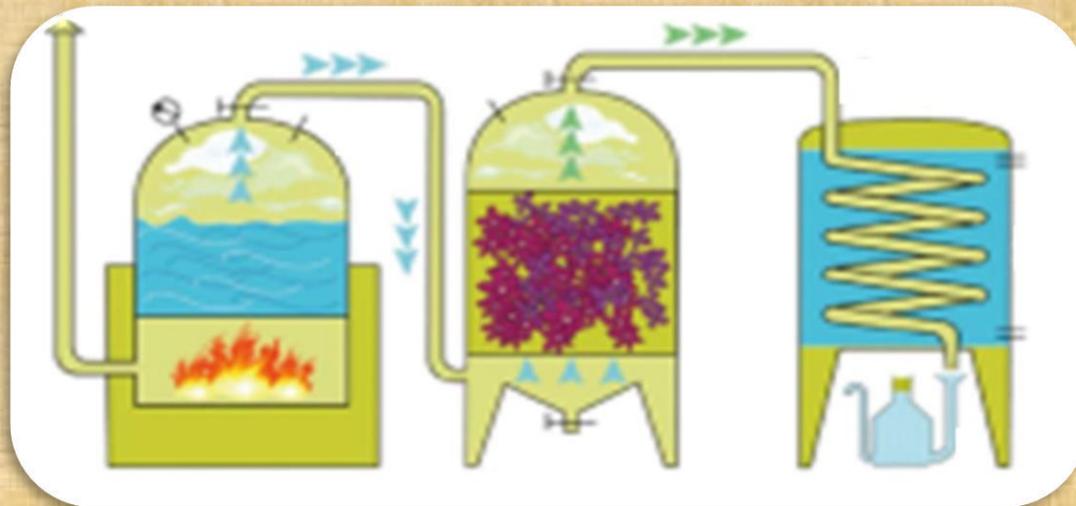


Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, Algérie  
Faculté de SNV - Département de Biologie  
Master 1 (SAAQ)



Dr. MEROUFEL Bahia

# Procédés de séparation



# Introduction

Les besoins de l'industrie de produit alimentaire qui répond à des spécifications données, nécessitent une **séparation préalable en différents constituants ou différentes fractions**, pour cela il existe des méthodes de séparation, décrit comme un ensemble des procédés mécaniques et physico-chimique permettent de séparer les divers corps purs formant un mélange, c.-à-d. qu'elles permettent de réaliser le transfert d'un soluté initialement contenu dans une phase liquide, solide ou gaz vers une phase non miscible au premier milieu

# Introduction

Les techniques de séparation des mélanges servent à **isoler** ou à **séparer certains constituants des mélanges dans lesquels ils se trouvent**. Il est souvent nécessaire, pour obtenir une substance pure, de la séparer de toutes les autres substances qui l'accompagnent. Le choix de la technique varie en fonction du mélange, de la substance que l'on doit séparer du reste du mélange et des phases qui constituent le mélange.

# Introduction

Un mélange peut être sous deux formes, **hétérogène** lorsqu'il forme deux ou plusieurs phases, **homogène** lorsqu'il forme une seule phase, le premier mélange hétérogène sa séparation effectuée dans un appareillage à décantation, le second mélange homogène nécessite la mise en œuvre de procédés parfois complexes.

# Introduction

Diversité des  
molécules  
fonctionnelles

Choix du procédé de séparation



Connaissance des propriétés physico-chimiques de la molécule d'intérêt, dans son environnement  
(taille, hydrophobicité, charge, solubilité, volatilité, etc...)

Qualité attendue de la biomolécule  
(pureté, activité, stabilité,...)

Contraintes économiques et environnementales  
(coûts, impacts environnementaux...)



Compromis / procédé optimal

## **Les techniques de séparation des mélanges (théorie)**

- L'évaporation.
- Pressage.
- La décantation.
- La filtration.
- La distillation.
- Le tamisage.
- La centrifugation.
- La chromatographie sur papier.
- Les techniques chimiques.

# Séparation de phase

## Pressage



# Séparation de phase

## Pressage

On peut définir le pressage comme étant **une opération de séparation d'un liquide emprisonné dans un solide** qu'on obtient par l'application d'une force (**pression**) sur la matière première solide pour en expulser la phase liquide.

Le pressage est le procédé où le liquide, qui se trouve dans les pores d'un solide, est expulsé par compression. Dans la plupart des équipements, le pressage est réalisé par des **forces mécaniques, hydrauliques ou pneumatiques**

# Séparation de phase

## Pressage

Dans l'industrie agroalimentaire le pressage est utilisé pour l'extraction de **jus de fruits, du sucre, de l'huile**, etc. On utilise encore le pressage pour la déshydratation des produits destinés à **l'alimentation du bétail**

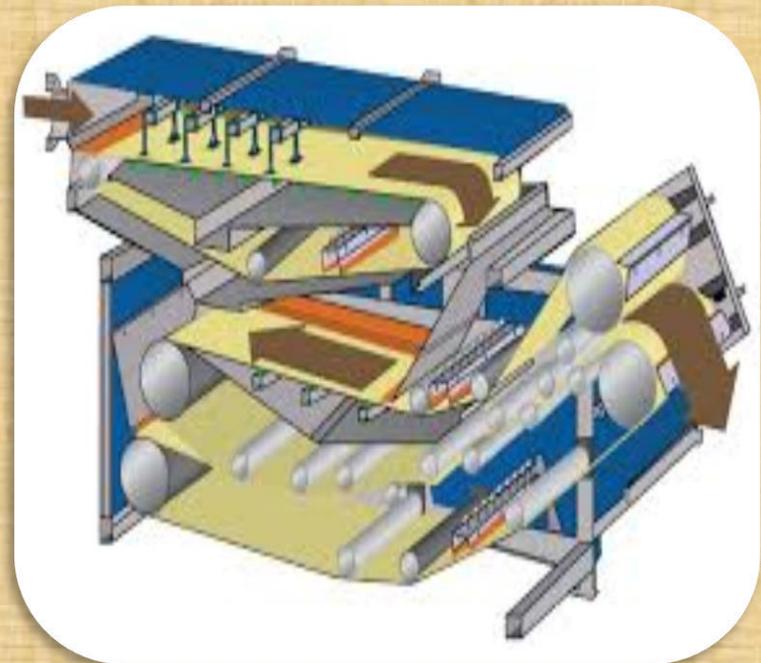


# Séparation de phase

## Pressage

Les presses utilisées dans l'industrie agro-alimentaire peuvent être divisées en deux grandes catégories :

- Presses continues : presses à vis et presses à bandes,



# Séparation de phase

## Pressage

**Pressoir à bande EBP350**  
**Élévateur incliné SA**

# Séparation de phase

## Pressage

- Presses discontinues : presses pneumatiques et filtres-presses à membranes



# Séparation de phase

## Pressage

Le choix du procédé et de l'équipement de pressage est déterminé par différents critères qui concernent la matière première et le produit fini :

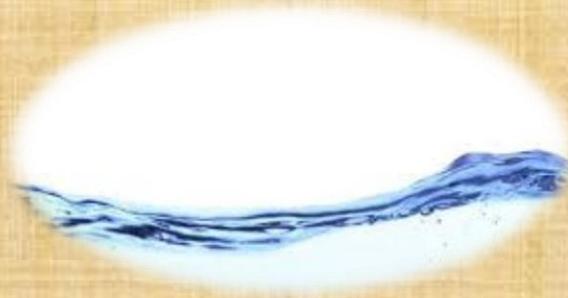


# Séparation de phase

## Pressage

### Fluidité

C'est le facteur principal qui détermine le choix de l'équipement. Pour un produit non « pompable », l'utilisation d'un équipement dont l'alimentation du produit nécessite un pompage comme une presse pneumatique ou un filtre-presse est évidemment déconseillée. On s'oriente alors vers des systèmes de compression où le produit est véhiculé différemment, c'est le cas des presses à vis ou des presses à bandes.



# Séparation de phase

## Pressage

### Pression requise

En fonction du produit, notamment de sa structure et de son humidité, la pression nécessaire pour la mise en œuvre du pressage est plus ou moins importante. Il est nécessaire d'intégrer ce critère lors du choix de l'équipement. Pour comparaison, Rebouillat (1983) **montre que sur une presse à bandes, la pression maximale pouvant être développée est de l'ordre de 5 à 7 bars, alors que sur une presse à vis, on peut atteindre des pressions beaucoup plus importantes**, utilisées pour l'extraction d'huile à partir de graines oléagineuses

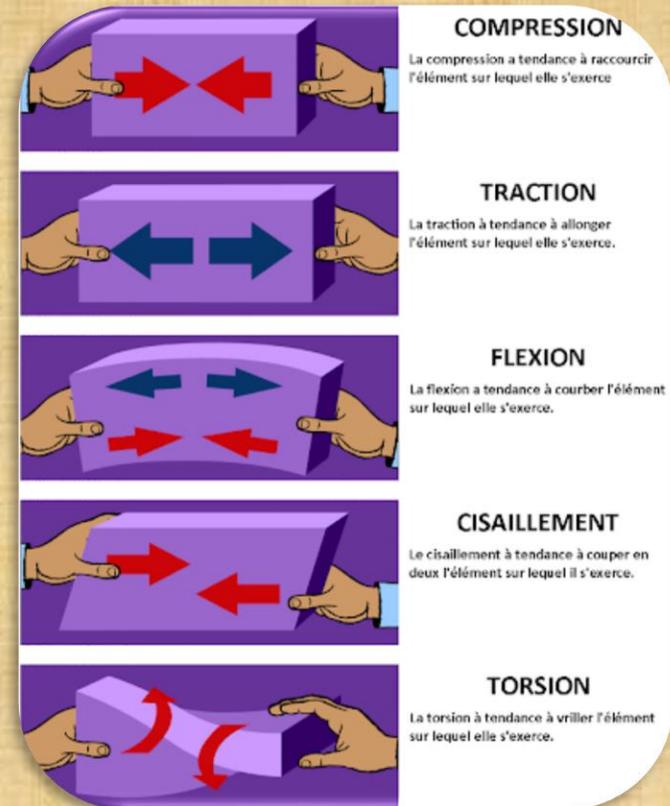


# Séparation de phase

## Pressage

### Nature des contraintes exercées

Elles diffèrent d'un équipement à l'autre. Sur une presse pneumatique ou un filtre-presse à membranes, les **contraintes exercées sont exclusivement unidirectionnelles**, alors que pour une presse à vis ou à bandes, les contraintes mises en œuvre résultent à la fois de **forces de compression et de cisaillement**



# Séparation de phase

## Pressage

### Liquide extrait

Outre la quantité du liquide extrait, la qualité de ce dernier présente souvent une contrainte à l'utilisation de certains équipements. En effet, l'extraction par pressage, étant une opération généralement non sélective, le liquide obtenu est plus ou moins riche en impuretés et notamment en particules solides. Les grandes pressions appliquées, ainsi que l'effet du cisaillement pour une presse à bandes et surtout pour une presse à vis font passer dans le liquide extrait des particules solides qui altèrent la qualité du jus. Pour les branches de l'industrie agroalimentaire qui nécessitent l'extraction d'un jus clair et limpide les presses pneumatiques sont les plus utilisées.

# Séparation de phase

## Pressage

### Gâteau

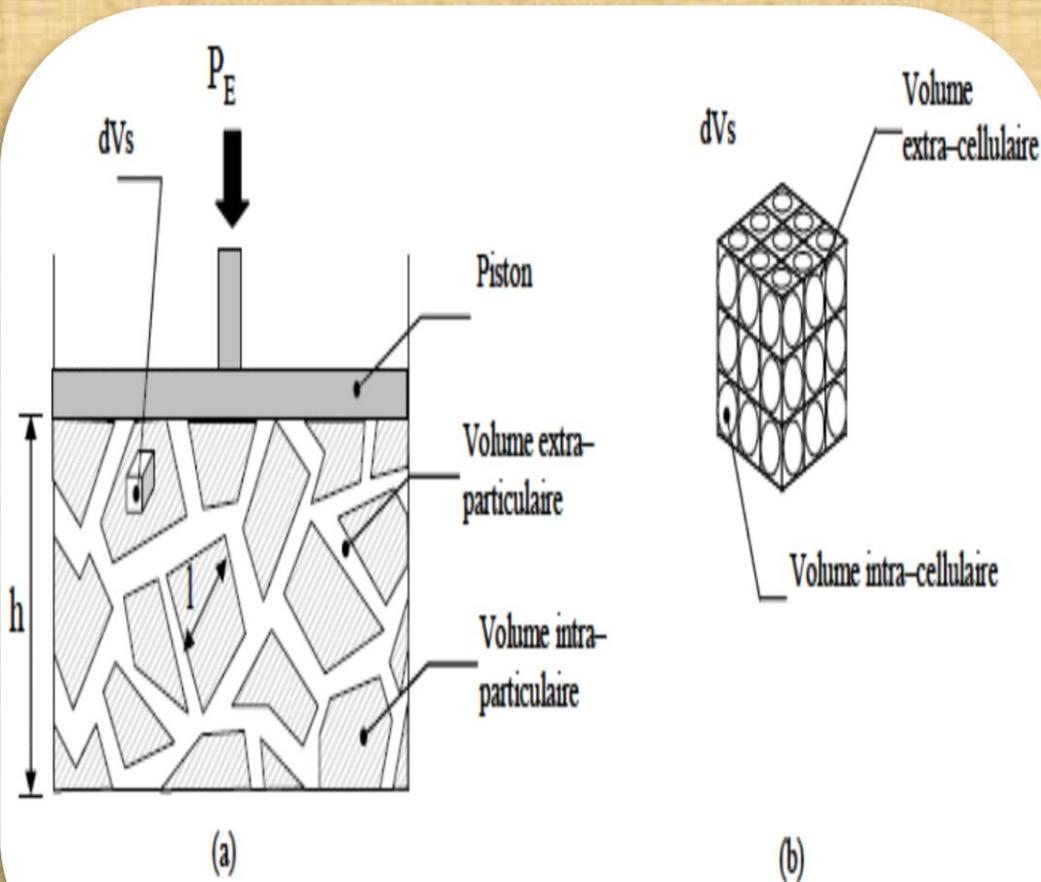
Sa siccité est généralement synonyme de l'efficacité du pressage. Le gâteau final doit être le plus sec possible.



# Séparation de phase

## Pressage

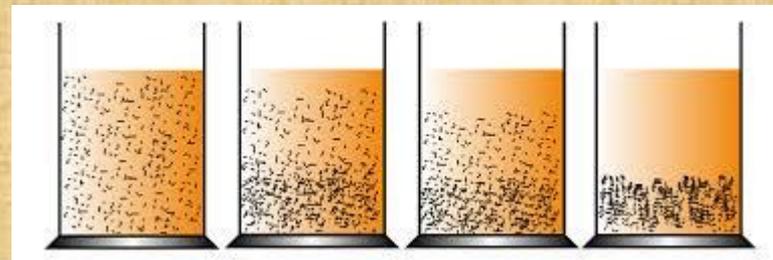
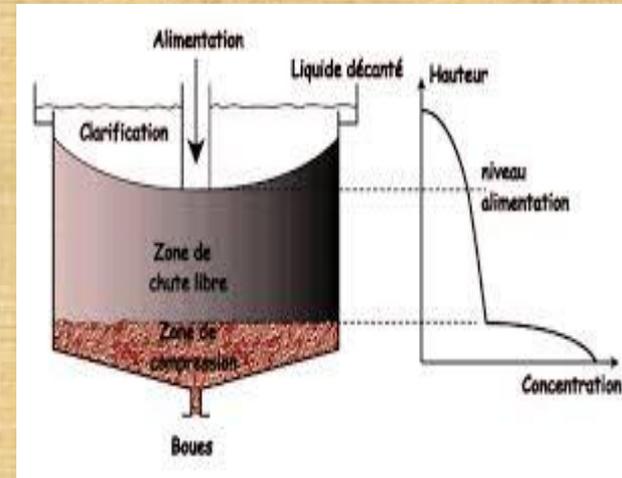
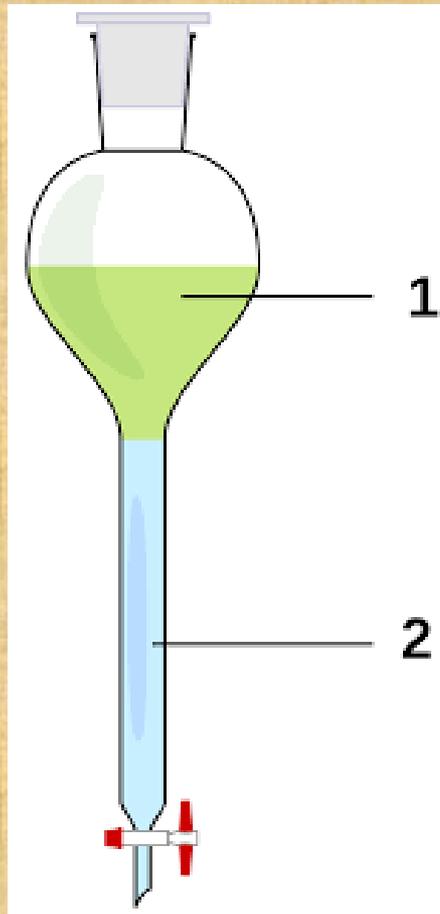
### Mécanisme de pressage



- Réarrangement des particules avec une déformation
- Air est comprimé et chassé du gâteau via les canaux du volume extraparticulaire
- Pression transmise au volume intracellulaire engendre une évacuation du liquide dans le volume extracellulaire puis dans le volume extraparticulaire
- Ecoulement de la première goutte de liquide à l'extérieur du gâteau

# Séparation de phase

## Décantation



# Séparation de phase

## Décantation

La décantation est une opération de séparation mécanique, par différence de gravité de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide.

On peut séparer des phases liquides ou une phase solide en suspension dans une phase liquide.

# Séparation de phase

## Décantation

Lampoule à décanter

N. Braneyre

# Séparation de phase

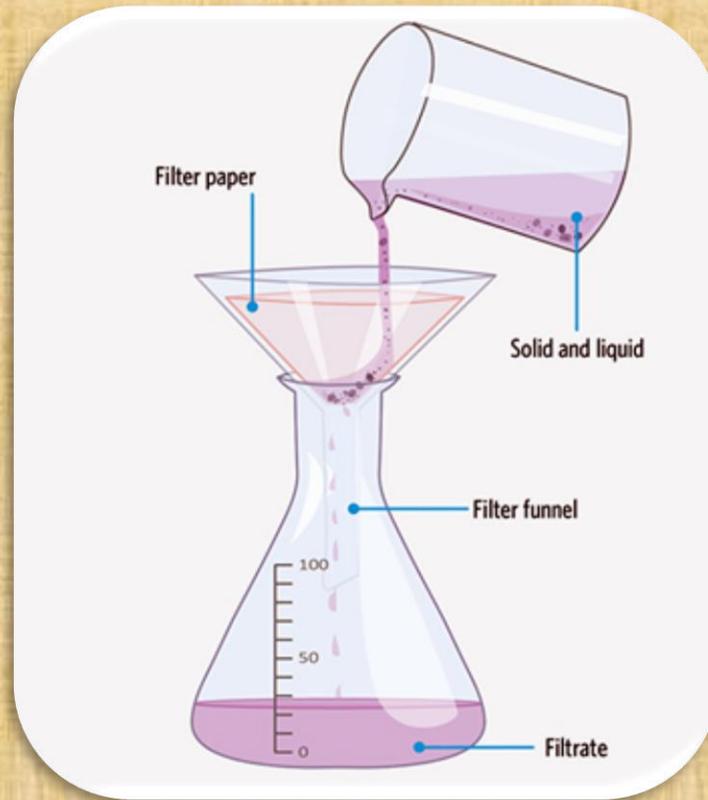
## Décantation

Si on laisse reposer une suspension solide dans une phase liquide, on observe que les particules sous l'action de la pesanteur et de la poussée d'Archimède, tendent à tomber vers le fond ou à remonter à la surface selon leur densité et leur taille. Cette décantation peut cependant être relativement lente pour les très fines particules (sensibles à l'agitation thermique) et les liquides particulièrement visqueux. Toutefois, il est possible d'agir sur plusieurs paramètres pour augmenter la vitesse de sédimentation :

- le diamètre des particules, en utilisant des flocculants.
- la différence de densité.
- la viscosité du fluide, qui diminue avec l'élévation de la température.
- la surface de base du bac.

# Séparation de phase

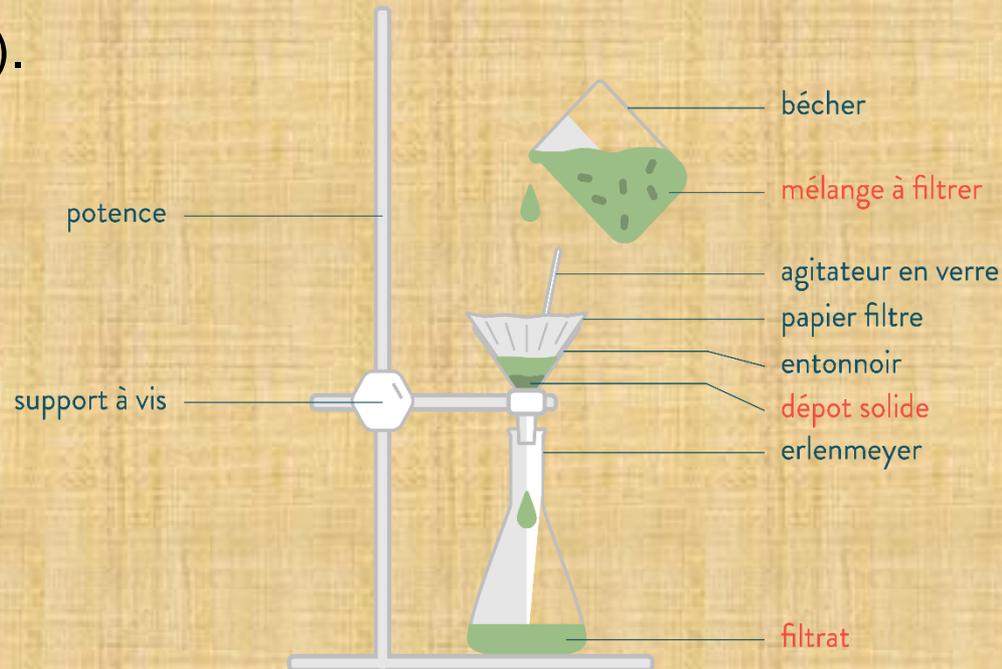
## Filtration



# Séparation de phase

## Filtration

La **filtration** est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui **possède une phase liquide et une phase solide** au travers d'un milieu poreux. L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité).



# Séparation de phase

## Filtration

L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité).

- le liquide ayant subi la filtration est nommé **filtrat** ou **perméat**,
- tandis que la fraction retenue par le filtre est nommé **résidu**, **rétenant** ou **gâteau**.

# Séparation de phase

## Filtration

La filtration porte différents noms selon la source de pression : gravitationnelle, sous vide, sous pression et centrifuge.

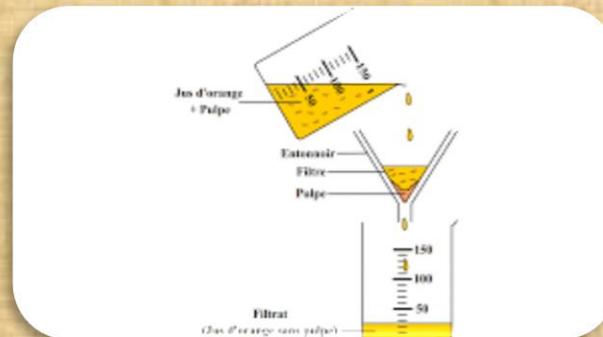
- Filtration gravitationnelle
- Filtration sous vide
- Filtration sous pression
- Filtration centrifuge

# Séparation de phase

## Filtration

### Filtration gravitationnelle

La filtration gravitationnelle utilise la force de gravité pour pousser le liquide à travers le milieu filtrant. Cette technique appliquée aux fluides particulaires contenant une grande charge en particules nécessite un temps de traitement très long. Pour cette raison, la filtration sous vide est généralement plus utilisée puisqu'elle permet une filtration plus rapide.



# Séparation de phase

## Filtration

### Filtration sous vide

La filtration sous vide utilise une pression négative pour aspirer le liquide au travers du filtre. La filtration sous vide est très utilisée dans l'industrie, autant en fournée qu'en continue. Des exemples de filtration sous vide sont les filtres Nutsche, qui sont une extension de la filtration sur Buchner, les filtres à feuilles sous vide, les filtres à basculement sous vide, les filtres rotatifs à panneaux sous vide, les filtres horizontaux à courroie sous vide, les filtres à disques rotatifs sous vide et les plus utilisés dans l'industrie, les filtres à tambour rotatif sous vide.



# Séparation de phase

## Filtration

### Filtration sous pression

La filtration sous pression, contrairement à la filtration sous vide, utilise une pression positive pour forcer le passage du liquide au travers du medium filtrant.

Cette technique de filtration peut être pratiquée en fournée ou en continue.

Quelques exemples d'équipements de filtration sous pression incluent les filtres-presses à plaques et cadres, les filtres à cartouche et les filtres-presses par compression mécanique.

# Séparation de phase

## Filtration

### Filtration sous pression

Les équipements de filtration en continue sont beaucoup plus pratiques dans l'industrie puisqu'ils limitent les manipulations et augmentent la capacité de traitement. La liste de ces équipements inclue les filtres à disques, les filtres à tambour, les filtres-presses à courroie horizontale, les filtres à compression continue et les filtres-presses à vis. Les deux principaux avantages de la filtration sous pression sont : le taux de filtration élevé et la faible humidité résiduelle dans le solide séparé.

# Séparation de phase

## Filtration

### Filtration centrifuge

La filtration centrifuge utilise la force centrifuge pour pousser le liquide au travers du milieu filtrant. Contrairement à la centrifugation, qui fait intervenir la différence de densité entre le liquide et le solide, la filtration centrifuge utilise une enceinte circulaire filtrante en rotation à de très hautes vitesses. Cette rotation permet d'augmenter le poids apparent de la suspension et ainsi de faire passer le fluide au travers du filtre. Cette technique est plutôt utilisée à très petite échelle en biotechnologie.

CENTRIFUGE FILTER SYSTEM

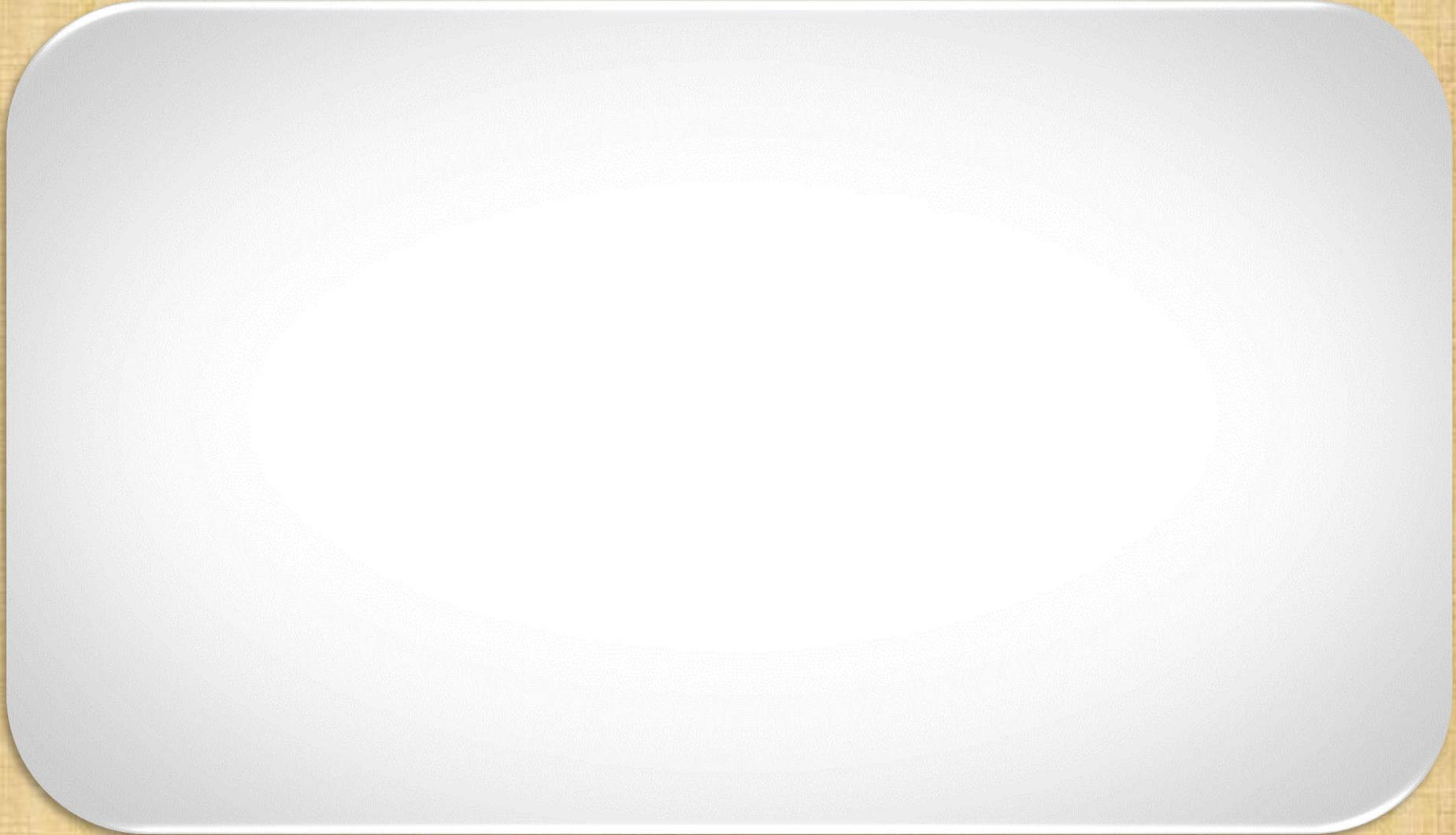


education purpose only. For



# Séparation de phase

## Filtration



# Séparation de phase

## Filtration

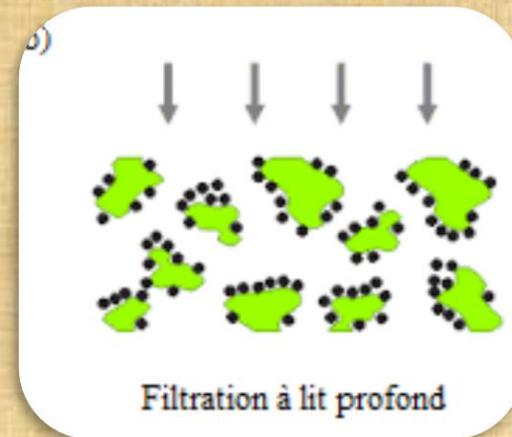
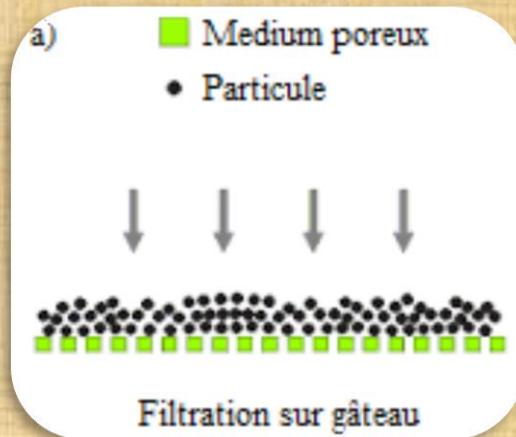
# Séparation de phase

## Filtration

### Types de filtration

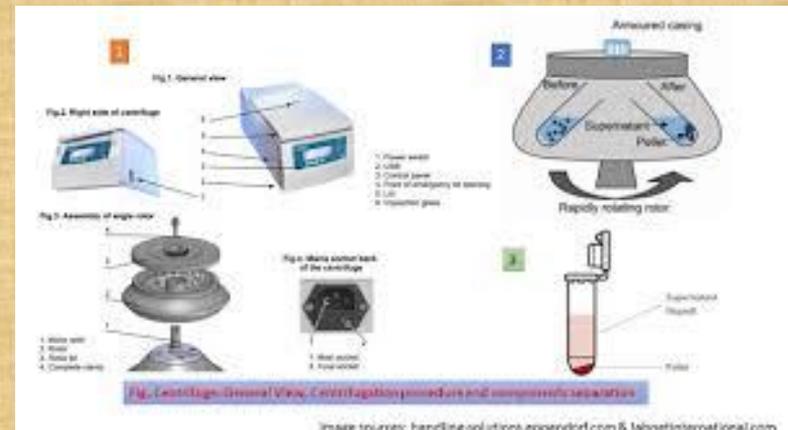
En pratique, il existe deux types de filtration :

- la filtration sur gâteau , où les particules solides sont déposées sur la surface du filtre pour former un gâteau
- la filtration à lit profond, où la déposition des particules s'effectue à l'intérieur du milieu poreux.



# Séparation de phase

## Centrifugation



# Séparation de phase

## Centrifugation

**La centrifugation** est un procédé de séparation des composés d'un mélange en fonction de leur différence de densité en les soumettant à une force **centrifuge**. Le mélange à séparer peut être constitué soit de deux phases liquides (émulsion), soit de particules solides en suspension dans un fluide

Ces centrifugeuses sont utilisées pour assurer l'extraction partielle et contrôlée ou l'évacuation maximale de l'excédent liquide (eau, huile, graisse, jus, sucre) générées par le process de transformation des produits alimentaires.

# Séparation de phase

## Centrifugation

### Applications concernées:

- Essorage de salades, de fruits ou légumes frais entiers ou conditionnés après lavage, d'herbes avant surgélation, de légumes après blanchiment ou avant lyophilisation, de produits alimentaires destinés aux garnitures de plats cuisinés, de semences maraîchères, de produits de la mer (algues, chairs ou sous-produits de poisson)...
- Extraction de suifs sur farines d'équarrissage ou de fondoirs, de miel sur cadres à alvéoles, d'huile sur produits alimentaires frits (croûtons de pain, oignons, cerneaux de noix), de sucre sur fruits confits, d'huiles végétales sur des pépins ou de jus ou d'alcool sur des écorces de fruit après macération...
- Clarification de jus de fruits, de graisses animales... Industries sucrière (laboratoire), oléicole, distilleries, amidon...

# Séparation de phase

## Centrifugation

Il existe deux principaux types de centrifugation.

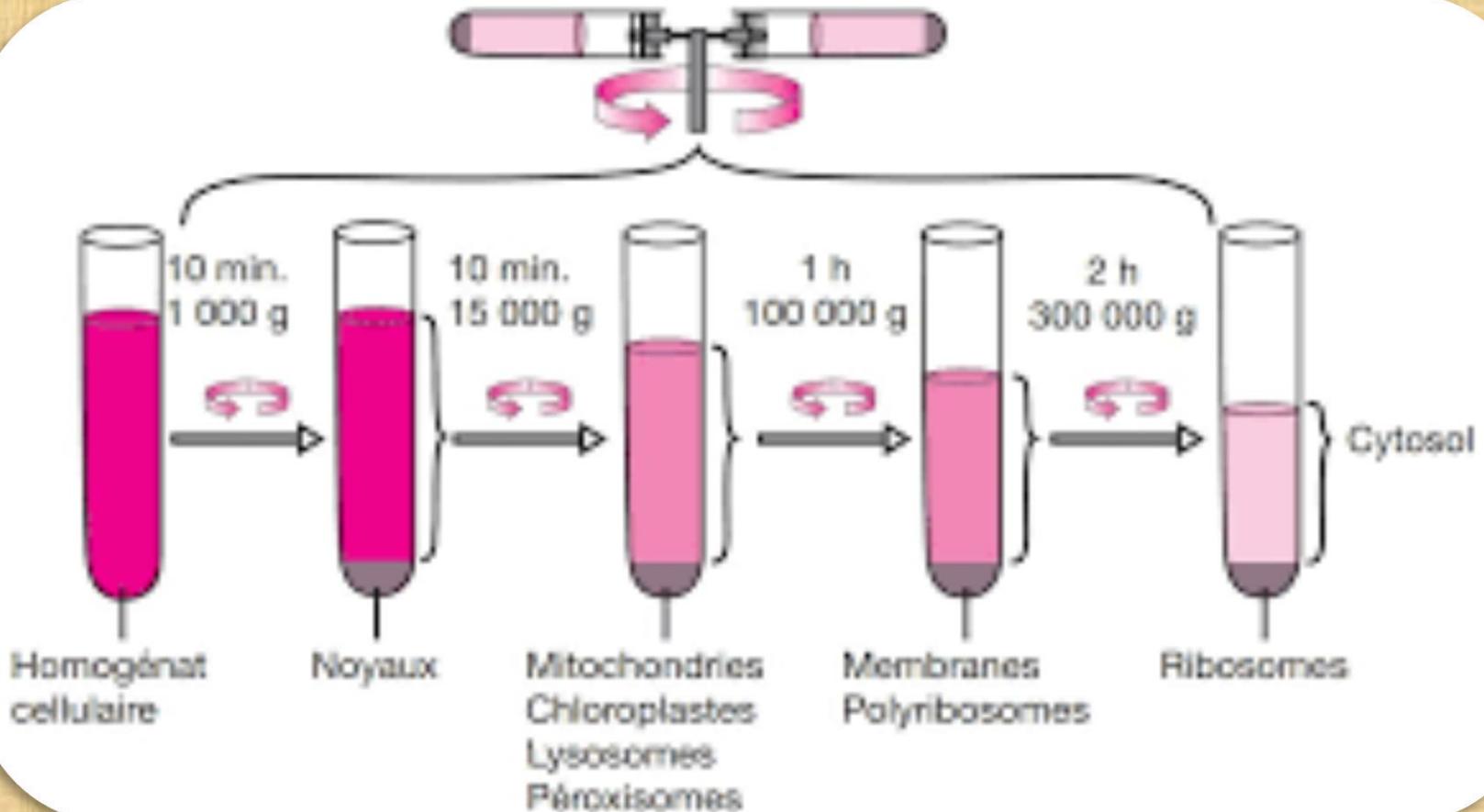
### Centrifugation différentielle

Elle se base sur les différences de vitesse de sédimentation entre particules qui diffèrent par densité et dimensions. Le principe de ce type de centrifugation est de **séparer les différents constituants à l'aide de plusieurs cycles de centrifugation à accélération croissante**. Dans une centrifugation à faible accélération, les éléments les plus massifs vont sédimenter et former un culot au fond du tube.

# Séparation de phase

## Centrifugation

### Centrifugation différentielle

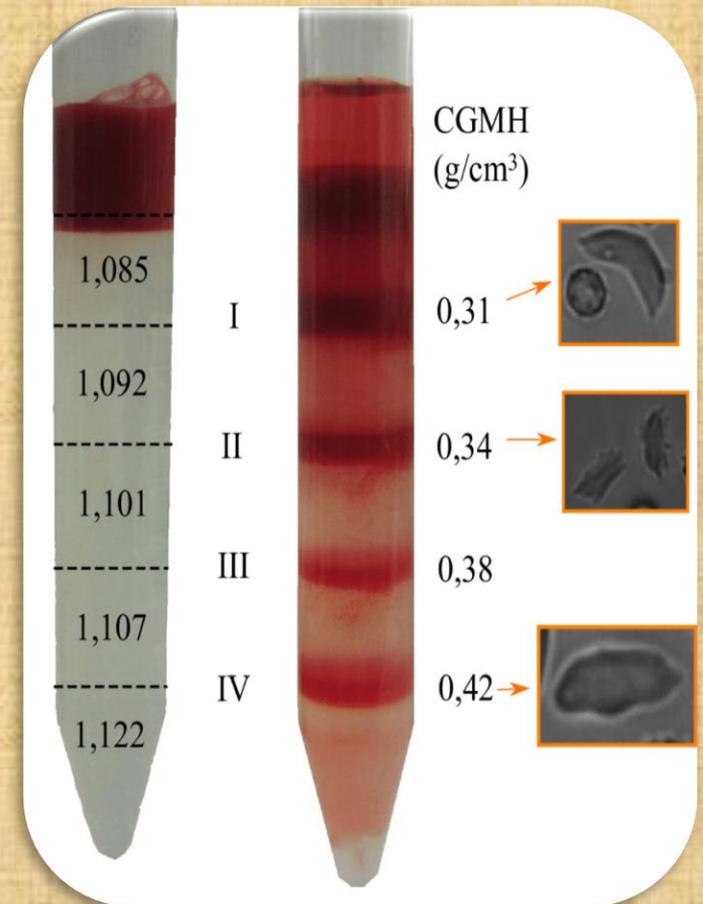


# Séparation de phase

## Centrifugation

### Centrifugation en gradient de densité

Dans cette méthode, les particules sédimentent au sein d'un gradient de densité. A l'équilibre, elles se stabilisent dans la zone du gradient où la densité est égale à la sienne. La différence entre la densité de la particule et celle du solvant constitue l'un des facteurs qui influence la vitesse de sédimentation. Cette dernière peut être modulée en faisant varier cette différence de densité par la création d'un gradient de densité.



# Séparation à l'échelle moléculaire

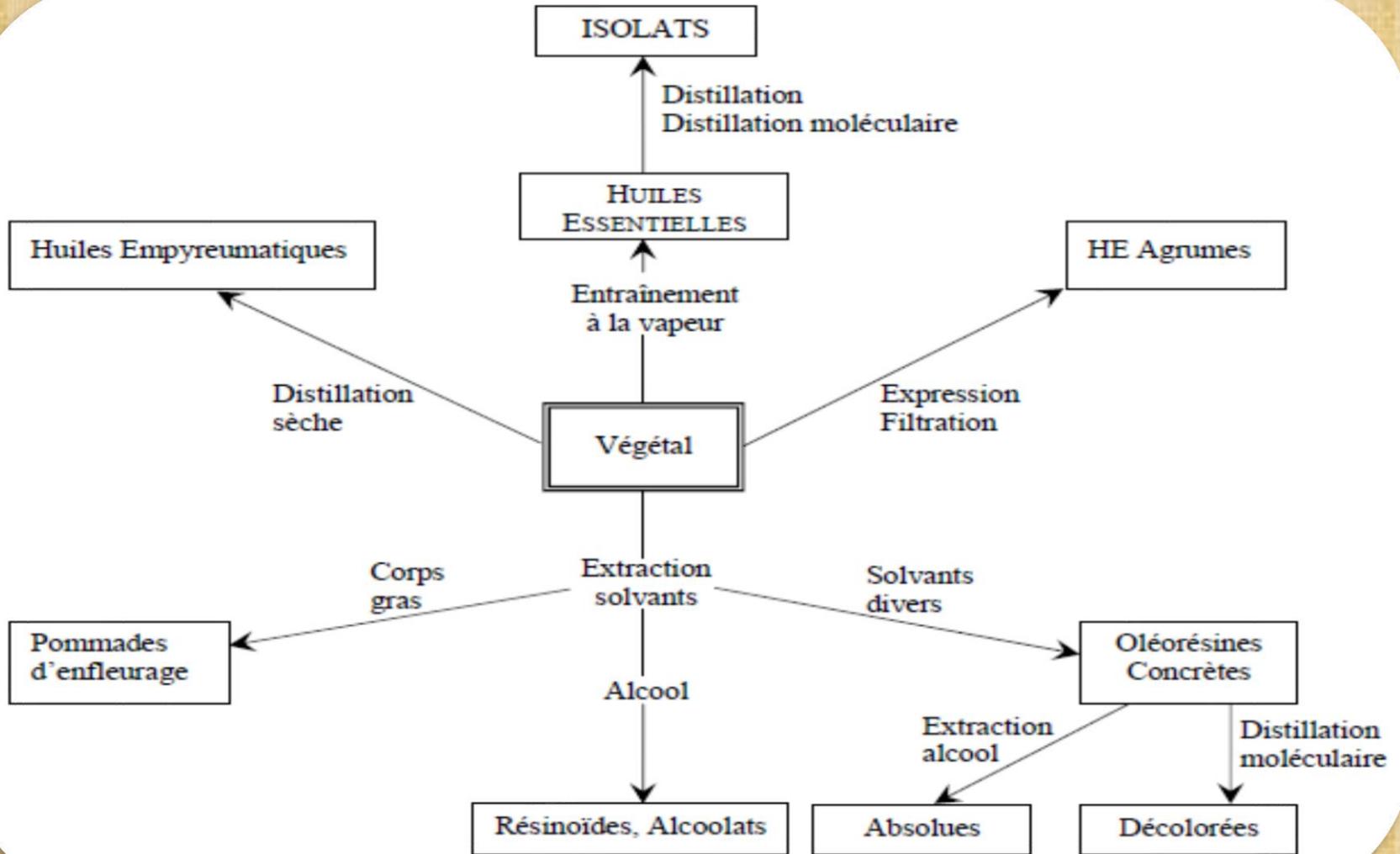
## Extraction

C'est une opération unitaire de séparation qu'on retrouve dans de nombreux process de fabrication : jus de fruit, vinification, sucrerie (canne), huilerie (olive)



# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction



# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Extraction par solvant

L'extraction par solvant est une opération de séparation d'une substance se trouvant dans une matière première solide grâce à l'utilisation d'un solvant liquide dans lequel la substance à extraire est soluble.

Ce procédé d'extraction solide/liquide est très utilisé depuis l'antiquité dans de nombreux domaines :

- Extraction du sucre (saccharose) de la betterave ou de la canne à sucre
- Extraction de l'huile végétale (sauf huile d'olive)
- Extraction d'additifs (colorants naturels, pectines des fruits, gélifiants d'algues...)
- Extraction de principes actifs par macération, décoction ou infusion en phytothérapie, parfumerie...
- Macération en œnologie (vinification en rouge) et en brasserie

# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Extraction par solvant

La matière noble est appelée « **EXTRAIT** » : c'est le solvant qui contient le soluté ou principe actif.

Le solide insoluble débarrassé du soluté est appelé « **RÉSIDU** » et peut avoir une deuxième vie en tant que co-produit (alimentation du bétail...)



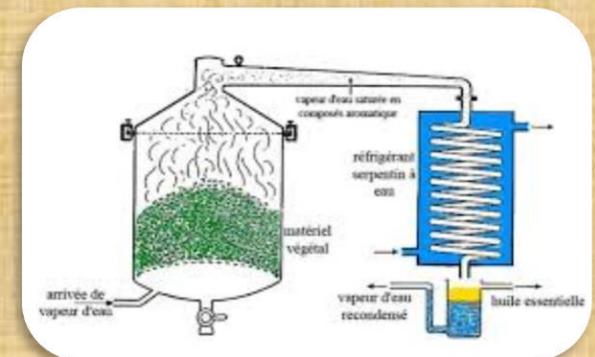
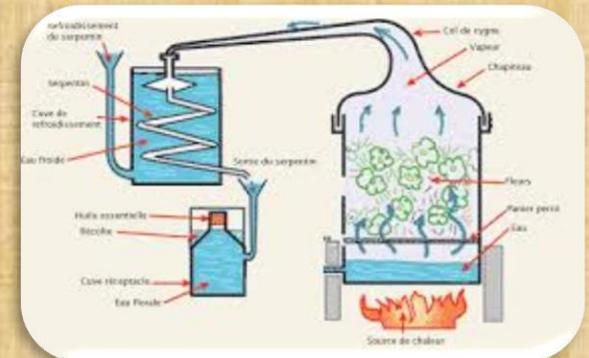
# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

#### Hydrodistillation et/ou Entraînement à la vapeur

L'extraction par entraînement à la vapeur d'eau est une technique très ancienne tout comme l'hydrodistillation. Elle consiste à récupérer l'huile essentielle contenue dans les cellules végétales au moyen de la vapeur d'eau.



# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

Techniques permettant d'extraire des composés chimiques présents dans une plante

#### Infusion

L'infusion consiste à introduire le végétal dans de l'eau bouillante puis à le laisser tremper pendant quelques minutes, pendant que l'eau refroidit. Exemples : infusion (ou tisane) de verveine, de tilleul, ... + thé



# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

#### Décoction

La décoction consiste à faire bouillir dans un liquide des substances végétales afin d'en extraire les composés chimiques qu'elles contiennent. Exemples : décoction de queues de cerises, de prêles, d'avoine



# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

#### Macération

La macération consiste à laisser séjourner dans un liquide, à la température ambiante, une substance dont on veut extraire les composés chimiques solubles. Ces composés doivent être solubles à froid dans le liquide choisi qui est utilisé comme solvant.

**Exemples** : huile de camomille, huile de millepertuis, eau parfumée à la menthe



# Séparation à l'échelle moléculaire

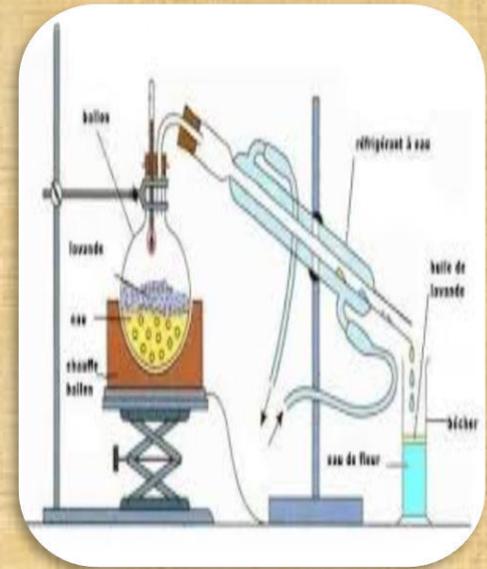
## Extraction

### Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

#### Hydrodistillation

L'hydrodistillation est une méthode d'extraction dont le rôle est d'entraîner les composés volatiles présents dans les produits naturels, grâce à la vapeur d'eau. Ce procédé est aussi appelé « entraînement à la vapeur ».

Etymologie du mot : il est composé de hydro (en grec « eau ») et de distillation qui vient du latin stilla, « goutte » et de distillare « tomber goutte à goutte ». Il semble que cette technique soit très ancienne car on a retrouvé des traces de son existence dès l'Antiquité, et on pense que les Perses l'auraient découvert pour fabriquer l'eau de rose.



# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Enfleurage

L'enfleurage est l'un des plus anciens procédés.

Il est basé sur l'affinité des parfums pour les graisses et concerne les plantes qui conservent leur parfum après avoir été cueillies (comme le jasmin ou la tubéreuse).



# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Enfleurage

#### Principe :

- Les fleurs sont étalées sur des châssis enduits de graisses inodores.
- Le parfum des fleurs est absorbé par les graisses jusqu'à saturation.
- Les fleurs sont renouvelées régulièrement (toutes les 24 heures pour les jasmin ou toutes les 72 heures pour la tubéreuse).
- L'opération est terminée quand un kilo de la matière grasse est saturée par deux à trois kilos de fleurs. Elle peut durer environ un mois.
- On fait alors fondre la pommade qui sera décantée.
- Elle sera ensuite traitée à l'alcool et à froid. L'alcool entrainera le parfum seul sans se charger des graisses.

Cette technique d'extraction est pratiquement en voie de disparition en raison de son coût élevé. Elle nécessite en effet une main d'œuvre importante.

# Séparation à l'échelle moléculaire

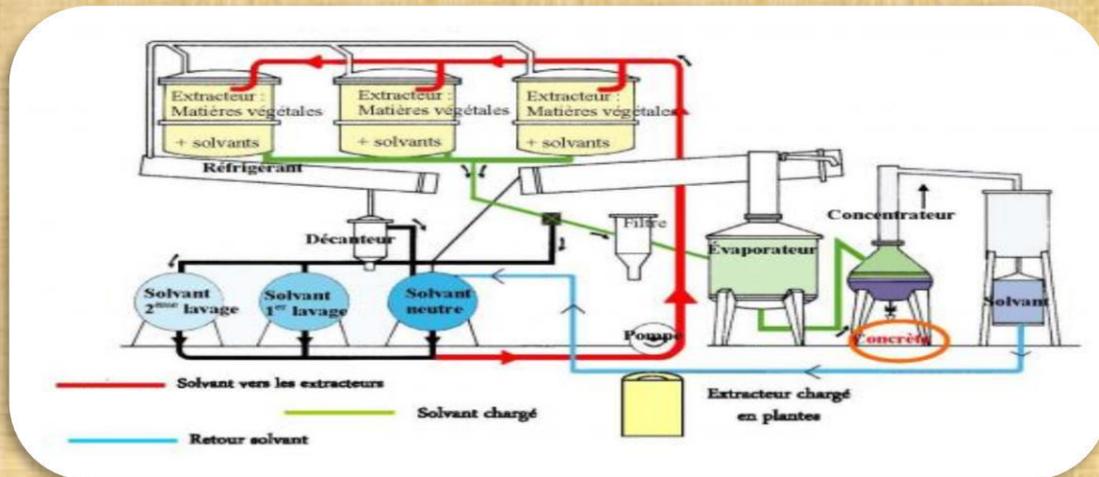
## Extraction

### Extraction par solvants volatils

Les solvants utilisés (hexane) ont un très grand pouvoir de solubilisation et seront facilement éliminés grâce à leur volatilité.

#### Principe :

- La matière végétale est chargée dans l'extracteur.
- Elle est ensuite épuisée par lavages successifs par le solvant approprié, pendant une durée déterminée.
- Après passage dans un décanteur puis un concentrateur, s'effectue une distillation partielle.
- On obtient : les molécules odorantes, les cires et les pigments.



# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Extraction au CO<sub>2</sub> supercritique

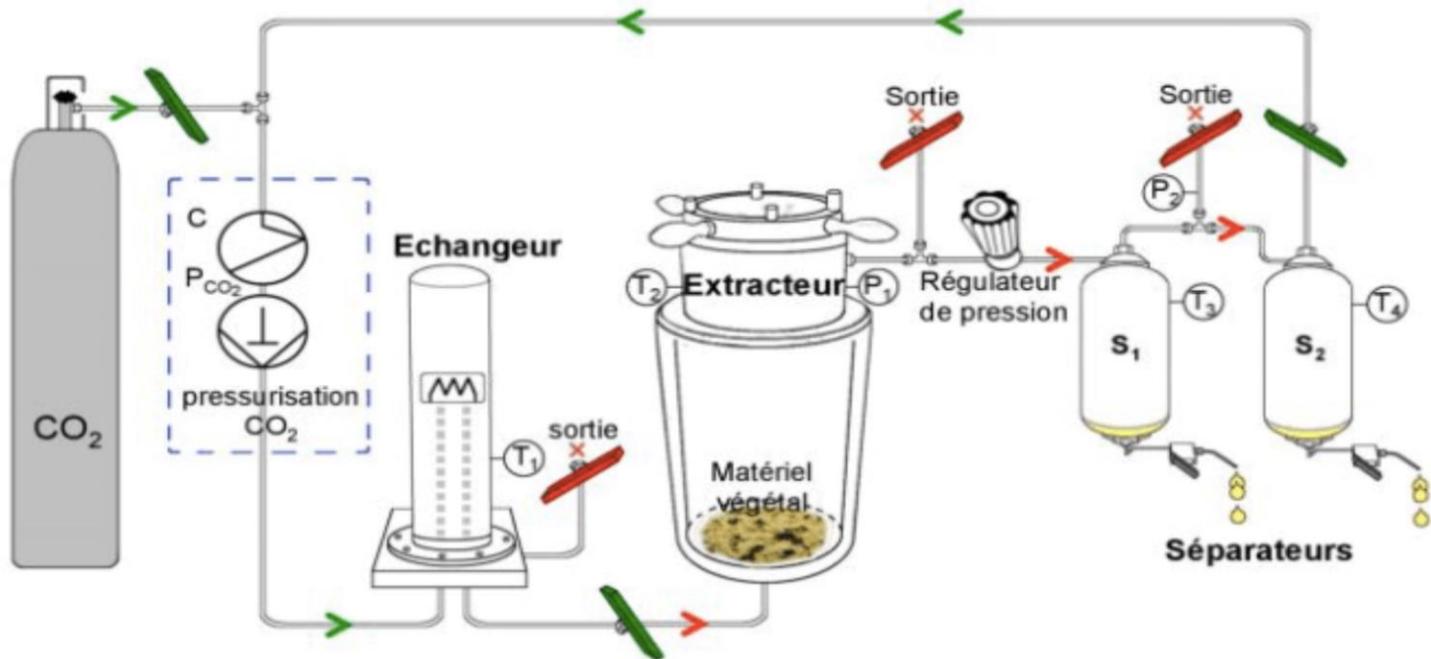
Il s'agit du procédé le plus récent d'extraction à froid des matières premières végétales utilisant le gaz carbonique CO<sub>2</sub>. Sous pression et à température supérieure à 31°C, le gaz carbonique se trouve dans un état dit « supercritique », intermédiaire entre le gaz et le liquide. Dans cet état, le CO<sub>2</sub> présente la particularité de dissoudre de nombreux composés organiques. Cette propriété a été mise à profit pour extraire des matières premières végétales intéressantes pour la parfumerie. Pour cette application, l'extraction au CO<sub>2</sub> supercritique présente de nombreux avantages par rapport aux procédés d'extraction traditionnels. Les matières premières ainsi obtenues sont proches du produit naturel d'origine.

# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Extraction au CO<sub>2</sub> supercritique

#### Extraction par CO<sub>2</sub> supercritique (SCE)



<http://www.tai-team.fr/fr/equipement/co2-supercritique>

# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Extraction au CO<sub>2</sub> supercritique

#### Principe :

- 1/ La matière végétale est chargée dans l'extracteur, puis le CO<sub>2</sub> introduit sous pression et réfrigéré.
- 2/ Le mélange est recueilli dans un vase d'expansion. La pression y étant réduite, le CO<sub>2</sub> reprend sa forme gazeuse et est complètement éliminé. L'extrait végétal est isolé.
- 3/ Les matières premières ainsi obtenues sont proches du produit naturel d'origine et sans solvant résiduel.

# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Expression

Cette technique d'extraction est utilisée pour l'obtention des essences d'agrumes ou hespéridés : bergamote, citron, mandarine, etc. L'huile essentielle est contenue dans le zeste, partie superficielle de l'écorce de ces fruits. Autrefois, la méthode dite « à l'écuelle » consistait à frotter le fruit, manuellement, dans un bol en bois dont l'intérieur était garni de picots.

Le jus était recueilli à l'aide d'une éponge - exprimé dans un récipient - puis filtré.

Actuellement, **les fruits sont compressés à froid** ; l'huile essentielle et le jus recueillis sont séparés par centrifugation. Cette méthode rapide et efficace donne une essence de bonne qualité.

# Séparation à l'échelle moléculaire

Extraction

Expression

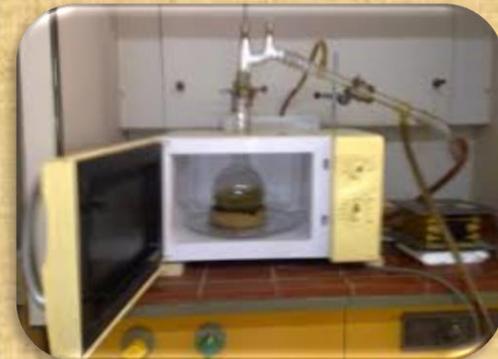
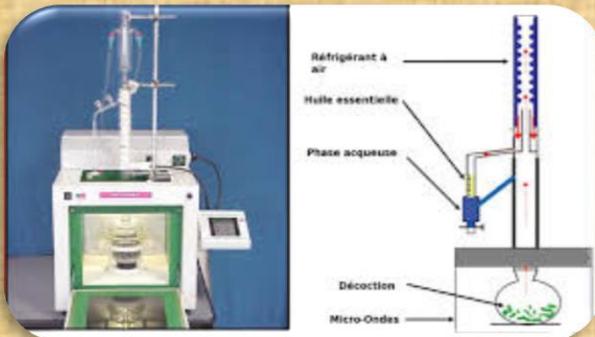


# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Hydrodistillation assistée par micro ondes

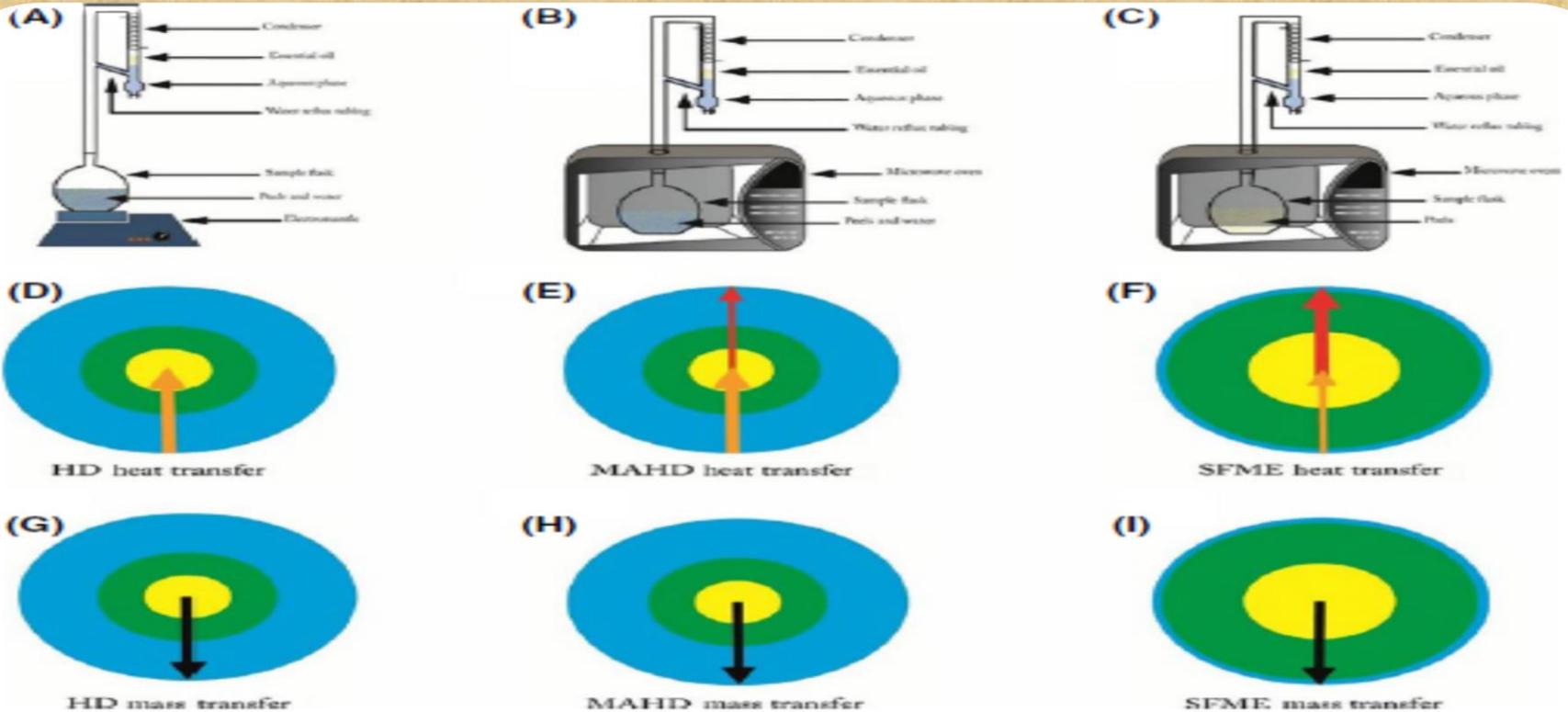
Le transfert de chaleur sous chauffage micro-ondes est complètement inversé par rapport au chauffage conventionnel. Le transfert de chaleur classique se transmet de l'extérieur vers l'intérieur du récipient. Sous chauffage micro-ondes, le volume traité devient lui même source de chaleur. On parle de dégagement de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur du récipient. La paroi externe du réacteur est plus froide que le milieu du réacteur dans le cas du chauffage micro-ondes, et inversement pour le cas du chauffage conventionnel par double enveloppe, plaque chauffante et flamme.



# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Hydrodistillation assistée par micro ondes



Représentation schématique du transfert de chaleur et de masse pendant l'hydrodistillation (HD), assistée par micro-ondes hydrodistillation (MAHD) et sans solvant extraction par micro-ondes (EMSS) d'huile essentielle de zeste de Citrus limon

# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Hydrodistillation assistée par micro ondes

L'extraction par micro-ondes regroupe différents procédés parmi lesquels :

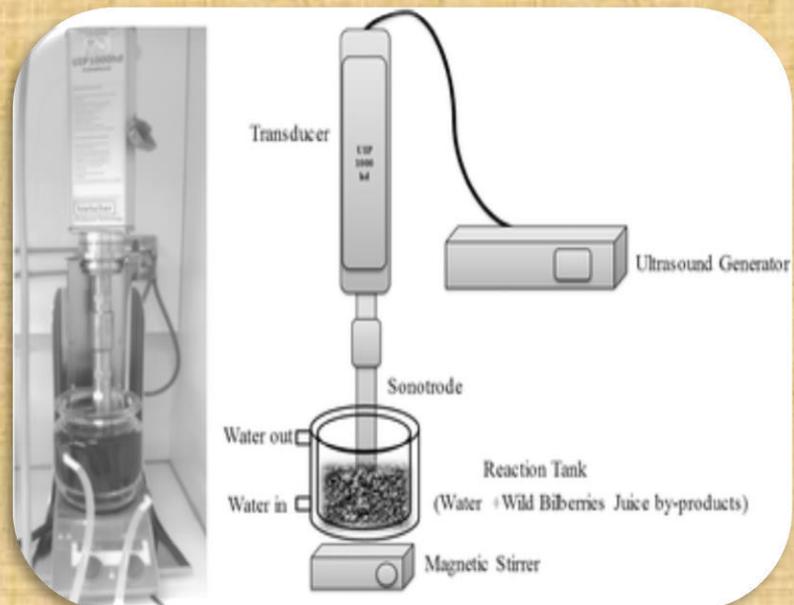
- L'extraction par solvant assistée par chauffage micro-ondes.
- Hydrodistillation assistée par chauffage micro-ondes sous vide.
- Extraction sans solvant assistée par chauffage micro-ondes (extraction des plantes fraîches)

# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

### Extraction par ultrasons

Cette nouvelle technique d'extraction a été utilisée afin de permettre la **réduction des temps d'extraction**, la consommation de **solvant** et de **l'énergie**, **d'augmenter les rendements d'extraction** et de **préserver les molécules thermolabiles**.



# Séparation à l'échelle moléculaire

## Extraction

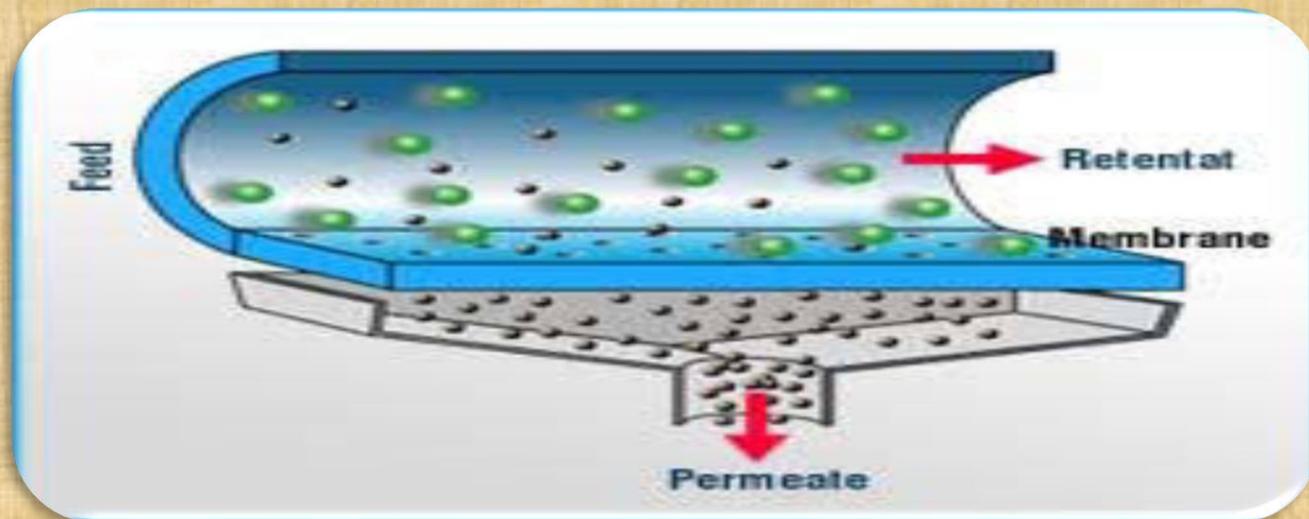
### Extraction par ultrasons

L'avantage principal est que l'extraction ne repose alors sur aucun solvant chimique et qu'elle prend beaucoup moins de temps, ajoutant un gain de coûts important. En fonction du produit final voulu, les méthodes d'extraction à base d'ultrasons peuvent fonctionner avec de l'éthanol, du CO<sub>2</sub>, de l'eau, de l'huile d'olive, de l'huile de coco et bien d'autres. Egalement, l'extraction à ultrasons ne produit pas de chaleur, qui détruit les principes actifs du cannabis même à faible température.

# Procédés membranaires.

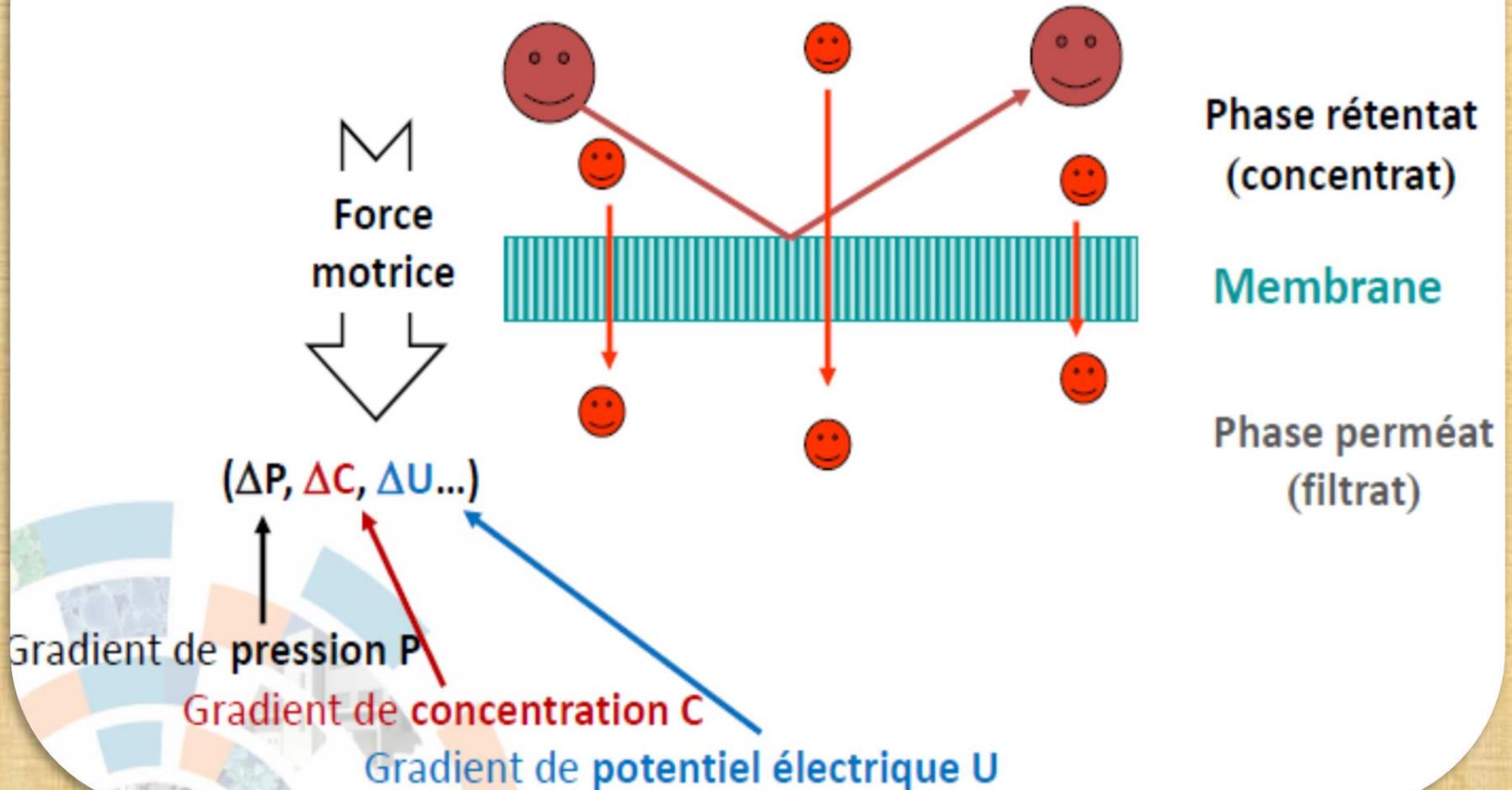
Les méthodes de séparation membranaire sont un procédé de séparation de fluides utilisant comme agent séparant une membrane synthétique qui est une couche mince de matière.

La partie du mélange retenue par la membrane est appelée réténtat (ou concentrat) alors que celle qui traverse cette dernière est appelée perméat.

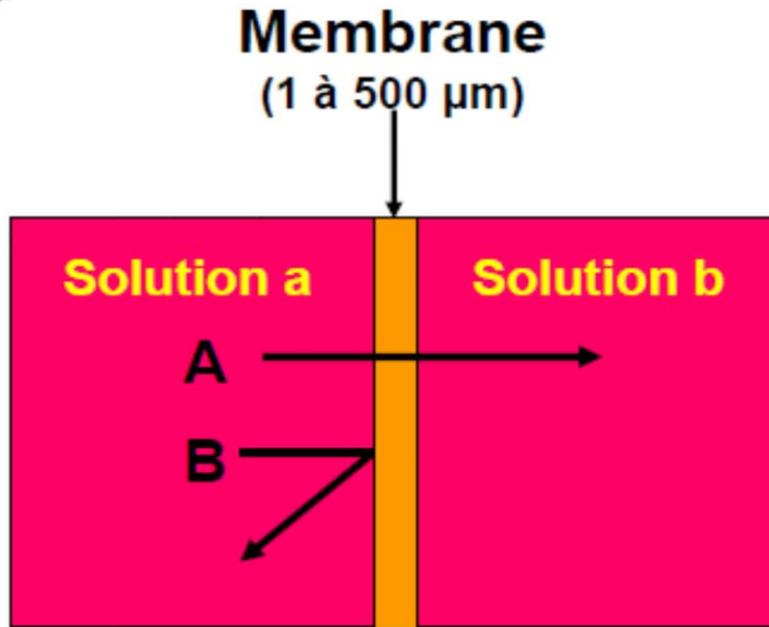


# Procédés membranaires.

## Schéma de principe:



# Procédés membranaires.



## 2 grandes familles :

- Membranes Échangeuses d'Ions (MEI : MEC, MEA, MB)
- Membranes poreuses (neutres ou chargées)

**Force de Transfert** → **Procédé**

$\Delta C$  → **Dialyses** (DD, DIC, DN)

$\Delta V$  → **Electrodialyses** (ED, EED, EDMB)

$\Delta P$  → **Baromembranaires** (OI, NF, UF, MF)

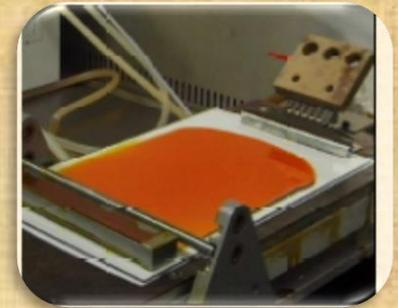
# Procédés membranaires.

## Membranes organiques

Elles sont fabriquées à base d'acétate de cellulose ou à partir de polymères de synthèse.

Parmi les polymères les plus utilisés, on rencontre entre autres, les polysulfones, les polyamides aromatiques, les polyimides, les polyethersulfones, les polycarbonates, ainsi que des polymères fluorés possédant principalement une structure asymétrique.

Le plus souvent un premier polymère présentant une structure macroporeuse est utilisé comme support (polyester, ...) et un second polymère forme la couche active de la membrane

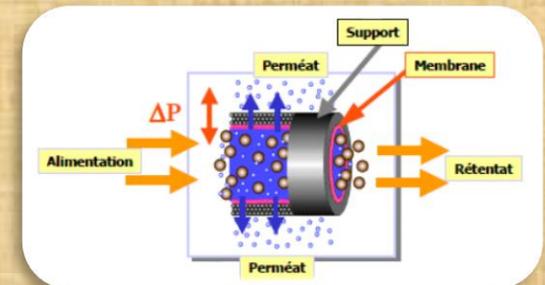
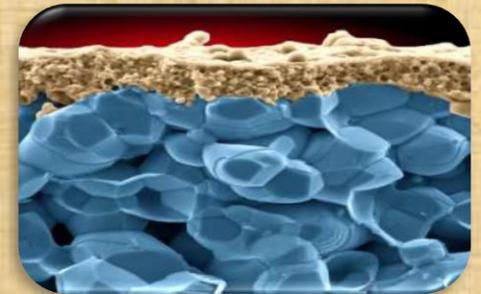


# Procédés membranaires.

## Membranes minérales (ou inorganique)

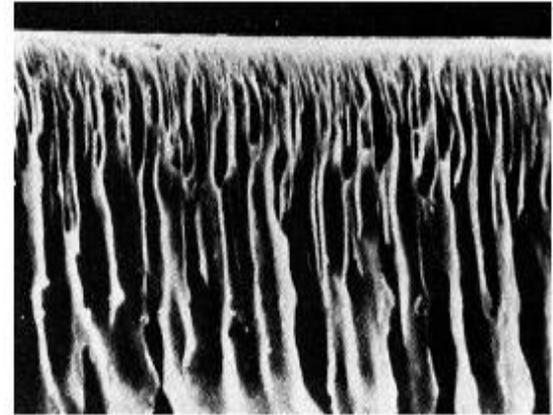
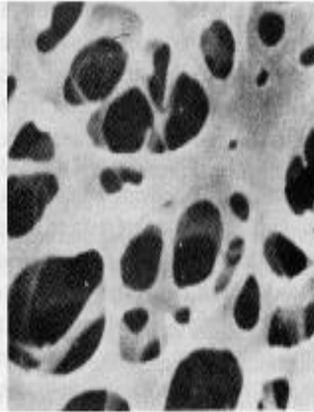
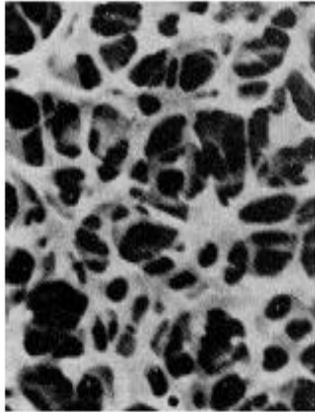
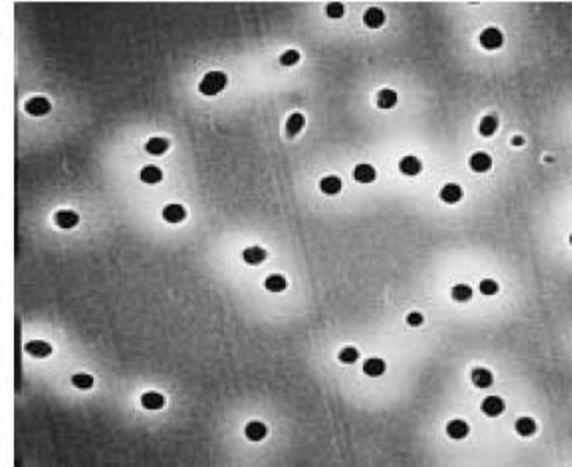
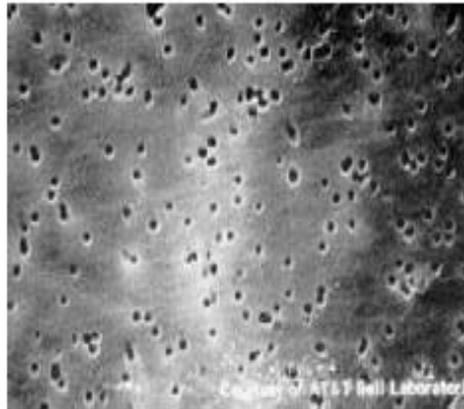
Ces membranes présentent une structure à la fois composite et asymétrique : elles sont composées d'un support macroporeux à base d'alumine ou de carbone sur lequel sont déposées un nombre variable de couches d'oxydes minéraux (aluminium,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ...).

Le rôle de ces couches filtrantes de faible épaisseur est d'assurer la séparation des solutés grâce à un rayon de pore adapté, alors que le support assure la résistance mécanique.



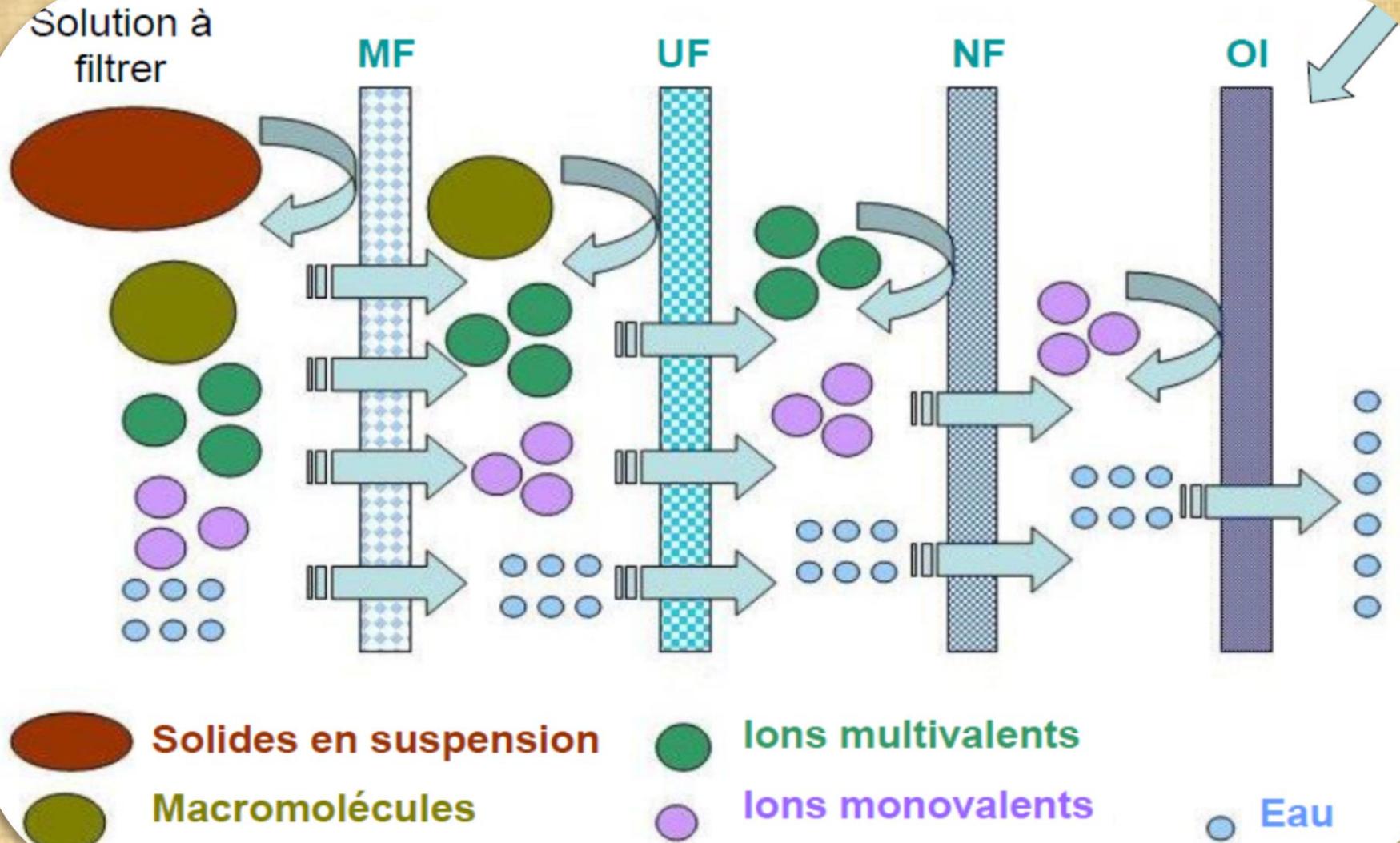
# Procédés membranaires.

## Observations au MEB



# Procédés membranaires.

## Filtration des procédés membranaires



# Procédés membranaires.

## Filtration des procédés membranaires

### Microfiltration (MF)

Elle peut être définie comme un procédé de séparation solide / liquide à **basse pression**. Les pressions appliquées sont de quelques dixièmes de bar pour éviter un **colmatage important**.

Le mécanisme est basé exclusivement sur l'effet tamis (taille) et rend possible la rétention de particules en suspension ou de bactéries dont la taille se situe entre **0.1 et 10  $\mu\text{m}$**

La microfiltration est le procédé de séparation membranaire le **plus utilisé actuellement à l'échelle industrielle** (en étape finale ou en prétraitement).

Ses principales applications sont :

- La clarification des eaux
- La séparation d'émulsions eau / huile
- La débactérisation de solutions
- La production d'eau potable (la microfiltration intervient ici comme une étape de prétraitement)
- Les bioréacteurs à membranes (BAM)

# Procédés membranaires.

## Filtration des procédés membranaires

### Ultrafiltration (UF)

L'ultrafiltration permet la séparation de **macromolécules et d'espèces colloïdales**. Le **solvant** ainsi que les **solutés de faible masse molaire traversent** la membrane selon un mécanisme convectif sous l'effet de la pression, tandis que les espèces de taille supérieures (**colloïdes, protéines, polymères**) **sont retenues**. Les pressions sont généralement entre **2 et 5 bars** elles sont supérieures à celles rencontrées en microfiltration et le seuil de coupure se situe entre  $10^3$  et  $10^6$  Dalton ( $\text{g.mol}^{-1}$ ). Les membranes d'ultrafiltration (diamètre de pore de **2 à 100 nanomètres**) peuvent retenir des colloïdes plus petits, les pigments et les virus non retenus en MF, mais retiennent surtout les protéines et les antibiotiques.

# Procédés membranaires.

## Filtration des procédés membranaires

### Ultrafiltration (UF)

**Les principales applications industrielles de l'ultrafiltration sont les suivantes :**

- Le traitement de bains de dégraissage (élimination des matières en suspensions (MES) et d'huile émulsifiée)
- La standardisation protéique du lait
- La concentration des protéines du lactosérum
- Les bioréacteurs à membranes
- La rétention des ions par ultrafiltration assistée par micellisation

# Procédés membranaires.

## Filtration des procédés membranaires

### Nanofiltration (NF)

Les membranes de nanofiltration possèdent une **structure moins dense** qui permet d'obtenir des flux de perméation supérieurs pour des **pressions inférieures**. Ce procédé sera **moins coûteux** car il impliquera une consommation **d'énergie moindre**.

Les membranes de nanofiltration ont une structure de pores plus resserrée et peuvent, de ce fait, **rejeter les petites molécules organiques ayant un poids moléculaire de seulement 200 - 300 Dalton**.

# Procédés membranaires.

## Filtration des procédés membranaires

### Nanofiltration (NF)

Initialement, les membranes de nanofiltration (NF) ont été **développées pour l'adoucissement de l'eau**. En raison de ses qualités de séparation, elle a été étendue à plusieurs autres domaines :

- La production d'eau potable
- La déminéralisation du lactosérum
- Le traitement des eaux de blanchiment de la pâte à papier (contenant des dérivés organiques halogénés)
- La concentration d'antibiotiques
- L'élimination de pesticides et d'herbicides

# Procédés membranaires.

## Filtration des procédés membranaires

### Osmose inverse (OI)

L'osmose inverse (OI) est un procédé déjà ancien qui met en œuvre des membranes denses qui **ne laissent passer que le solvant et qui arrêtent tous les sels**. La séparation solvant-soluté se fait par un **mécanisme de solubilisation-diffusion** : le solvant s'adsorbe dans la phase membranaire puis diffuse à travers le matériau

Les principales applications industrielles de l'osmose inverse sont les suivantes :

- Dessalement d'eau de mer et d'eaux saumâtres
- Élimination de pesticides et d'herbicides
- Production d'eau ultra pure (industrie électronique, pharmaceutique...)
- Concentration d'antibiotiques

# Procédés membranaires.

## Filtration des procédés membranaires

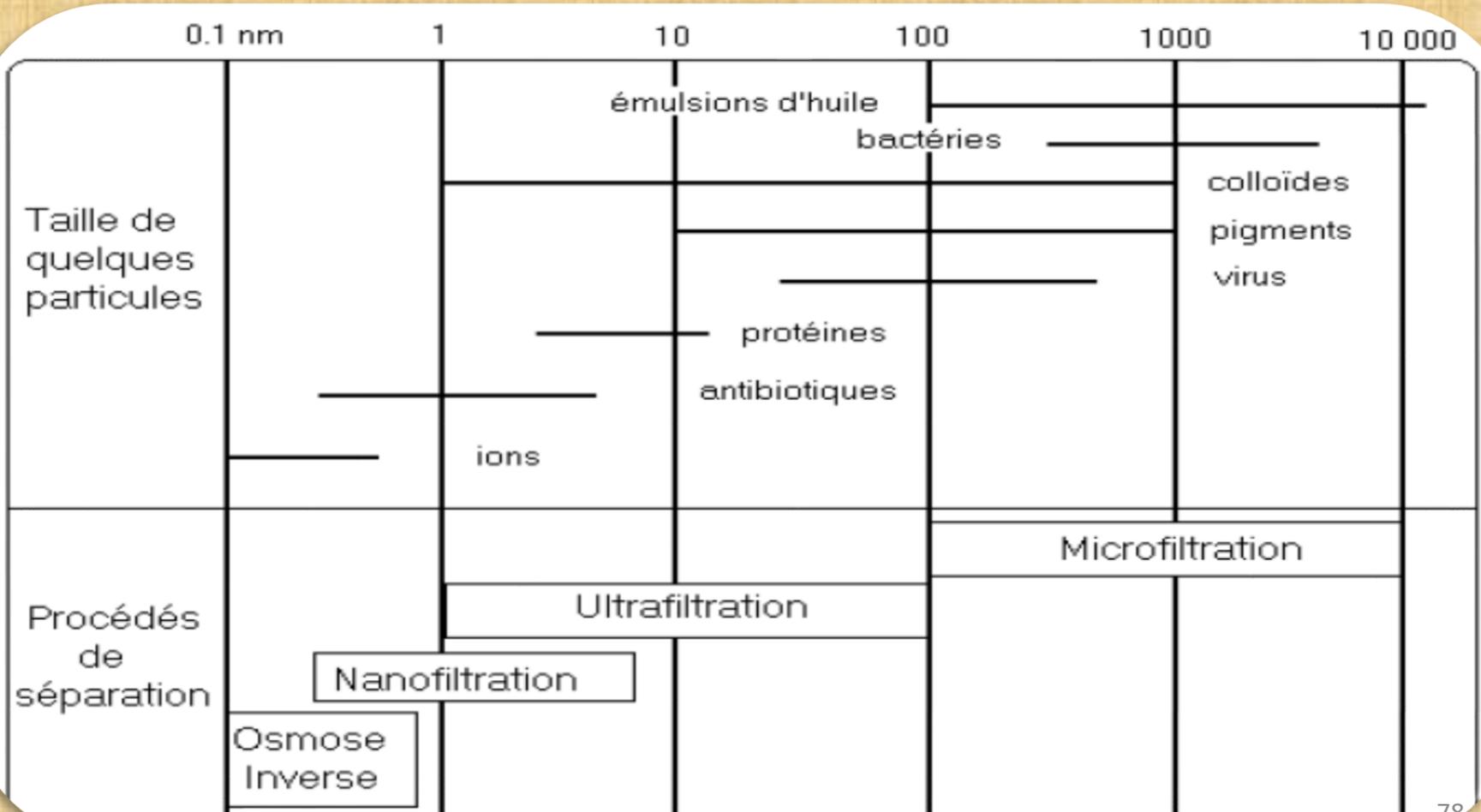
### Procédés concurrents aux différentes techniques membranaires.

Osmose inverse	Nanofiltration	Ultrafiltration	Microfiltration
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Evaporation</li><li>➤ Electrodialyse</li><li>➤ Echange d'ions</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Echange d'ions</li><li>➤ Chromatographie</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Précipitation chimique</li><li>➤ Chromato sur gel</li><li>➤ Dialyse</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Centrifugation</li><li>➤ Filtration sur diatomées</li><li>➤ Décantation</li></ul>

# Procédés membranaires

## Filtration des procédés membranaires

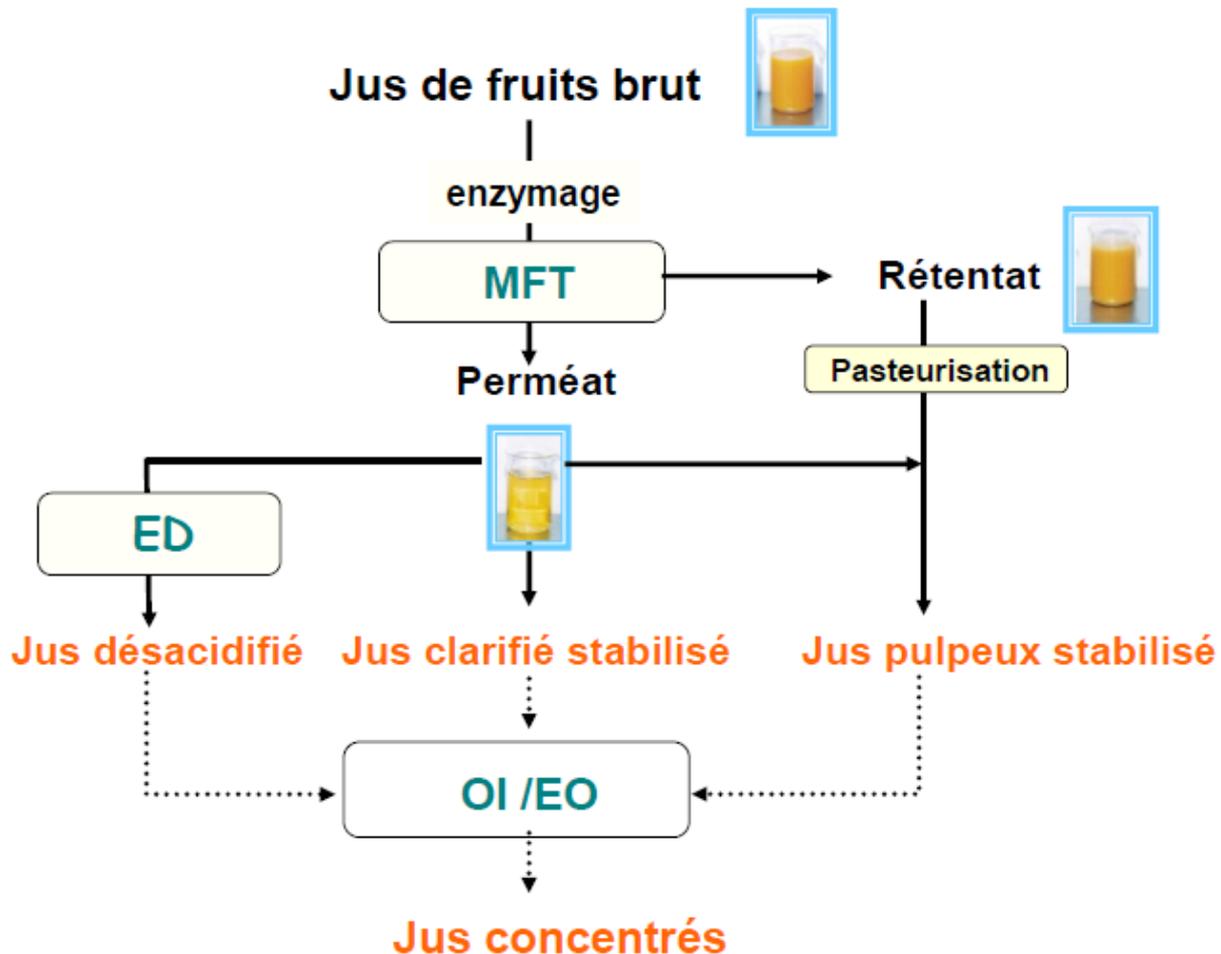
### Domaines d'applications des différentes techniques à membranes



# Procédés membranaires

## Applications dans le secteur des boissons

### Clarification, stabilisation, desacidification et concentration



# Procédés membranaires

## Applications dans le secteur des boissons

Passion fruit

pH: 2.8



Castilla Mulberry

pH: 2.8



Naranjille

pH: 3.2



Production → ~250 000 t / an  
(~24 000 t / an à l'exportation)

~ 5 000 t / an

~ 14 000 t / an

Araza

pH: 2.6

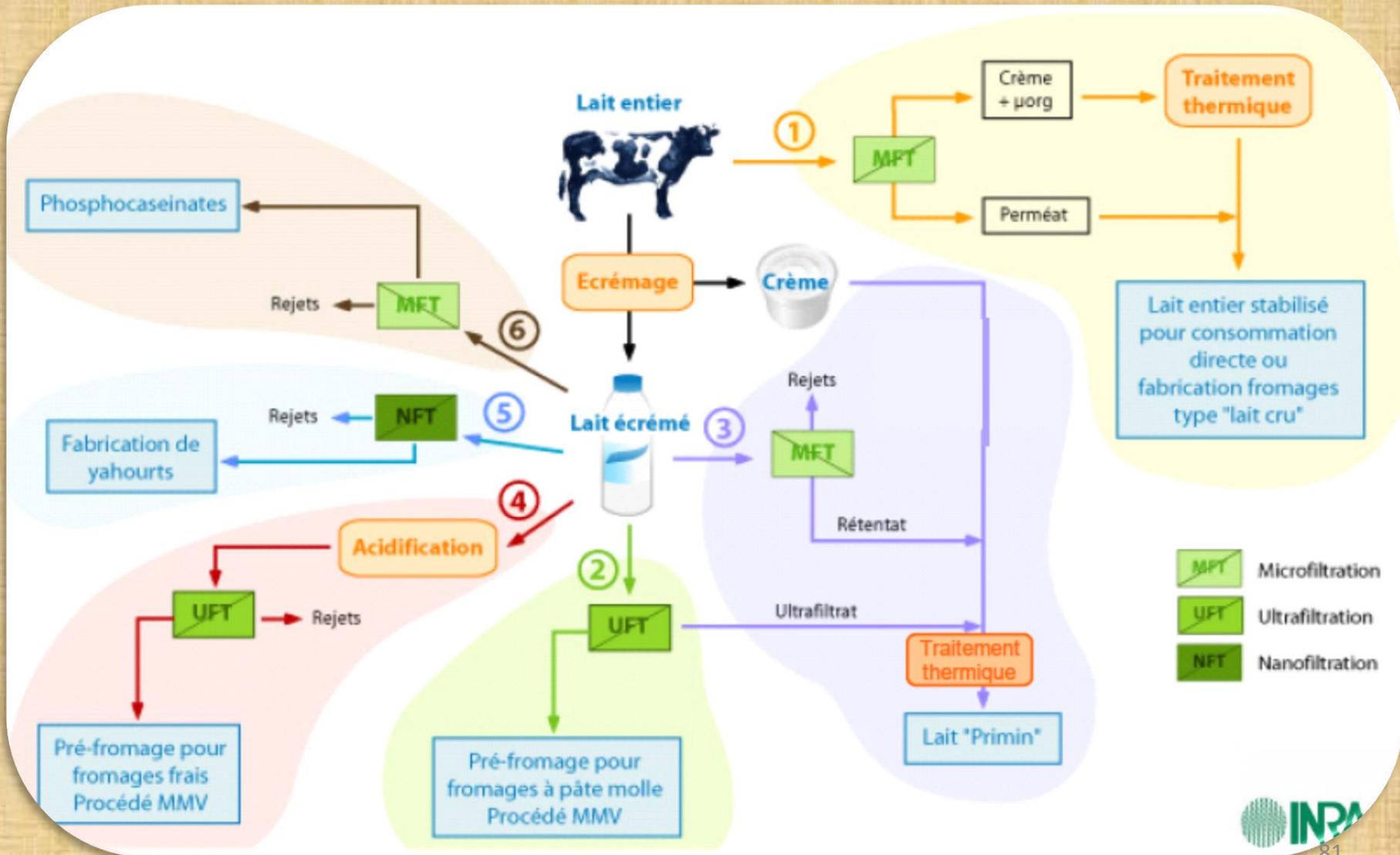


Problème:

- Acidité désagréable pour une consommation directe
- Acidité trop élevée pour la préparation de boissons lactées aux fruits

# Procédés membranaires

## Applications membranaires dans le secteur laitier



# Procédés membranaires

## Avantages des procédés membranaires

- Moins de consommation d'énergie (pas de changement d'états)
- Conservation des éléments thermosensibles
- Pas d'altération de la qualité gustatives des produits (surtout agroalimentaires)

## Défauts des procédés à membrane

- Vieillissement des membranes
- Sensibilité des membranes à certains oxydants :  $\text{ClO}^-$ ,  $\text{Cl}_2$ ,...
- Cinétique parfois lente

# Résumé

## Maturité technologique et d'utilisation des différents procédés de séparation

...Encore une bonne marge de progression...

