

Master 1 Génie des Procédés des Matériaux

Cours Operations unitaires II

Rappels de thermodynamique

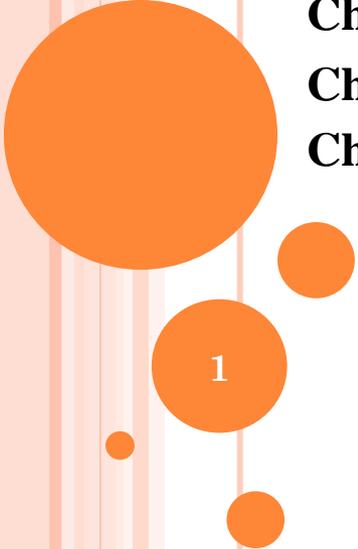
Chapitre 1 : Procédés d'agglomération et de fragmentation des solides

Chapitre 2 : Opérations d'humidification

Chapitre 3 : Séchage et Evaporation

Chapitre 4 : Tours de contact gaz-liquide

Chapitre 5 : Séparation Solide-Liquide



1

Année universitaire 2023/2024

Réalisé par S. TOUZOUIRT

CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

1. Définition

2. Intérêt

3. Caractérisation des solides humides

3.1. Humidité d'un solide

3.2. Description du solide humide

4. Modes de séchage des solides

4.1. Convection

4.2. Séchage par conduction

4.3. Séchage par rayonnement

5. APPAREILLAGE

5.1. Principe

5.2. Séchage par conduction

5.3. Séchage par convection

5.4. Séchage par atomisation

5.5. Sécheurs sous vide (sécheur à palette)

CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

1. Définition

Le séchage est une opération unitaire mettant en jeu un transfert de matière (le liquide imprégnant le solide passe à l'état de vapeur dans une phase gazeuse) et un transfert thermique (une fourniture de chaleur permet le changement de phase du liquide).

2. Intérêt

Le champ d'application du séchage est particulièrement large: produits chimiques, produits pharmaceutiques, produits agro-alimentaires, matières plastiques, papiers, bois...

Il se distingue de l'évaporation par les quantités de liquide traité

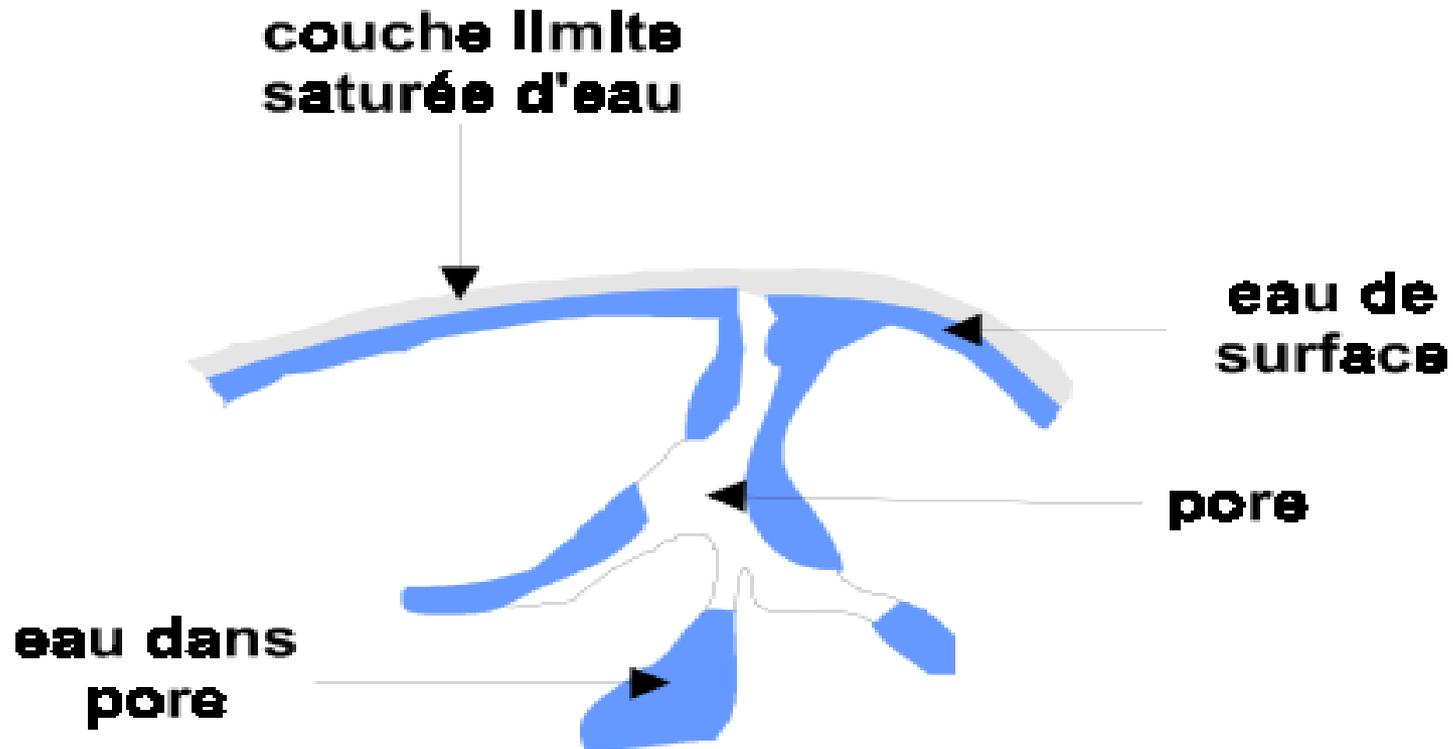
CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

3. Caractérisation des solides humides

3.1. Humidité d'un solide

la masse d'eau en kg associée à 1 kg de solide sec.
(fréquemment des pourcentages)

3.2. Description du solide humide

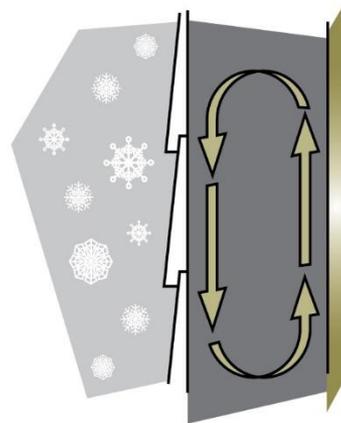


CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

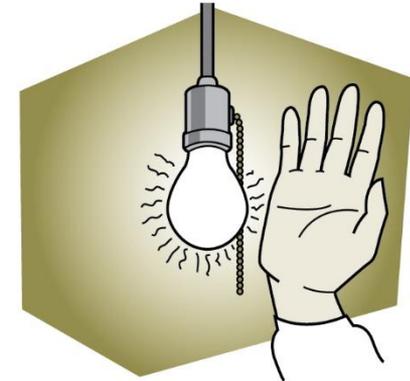
4. Modes de séchage des solides



Conduction



Convection



Rayonnement

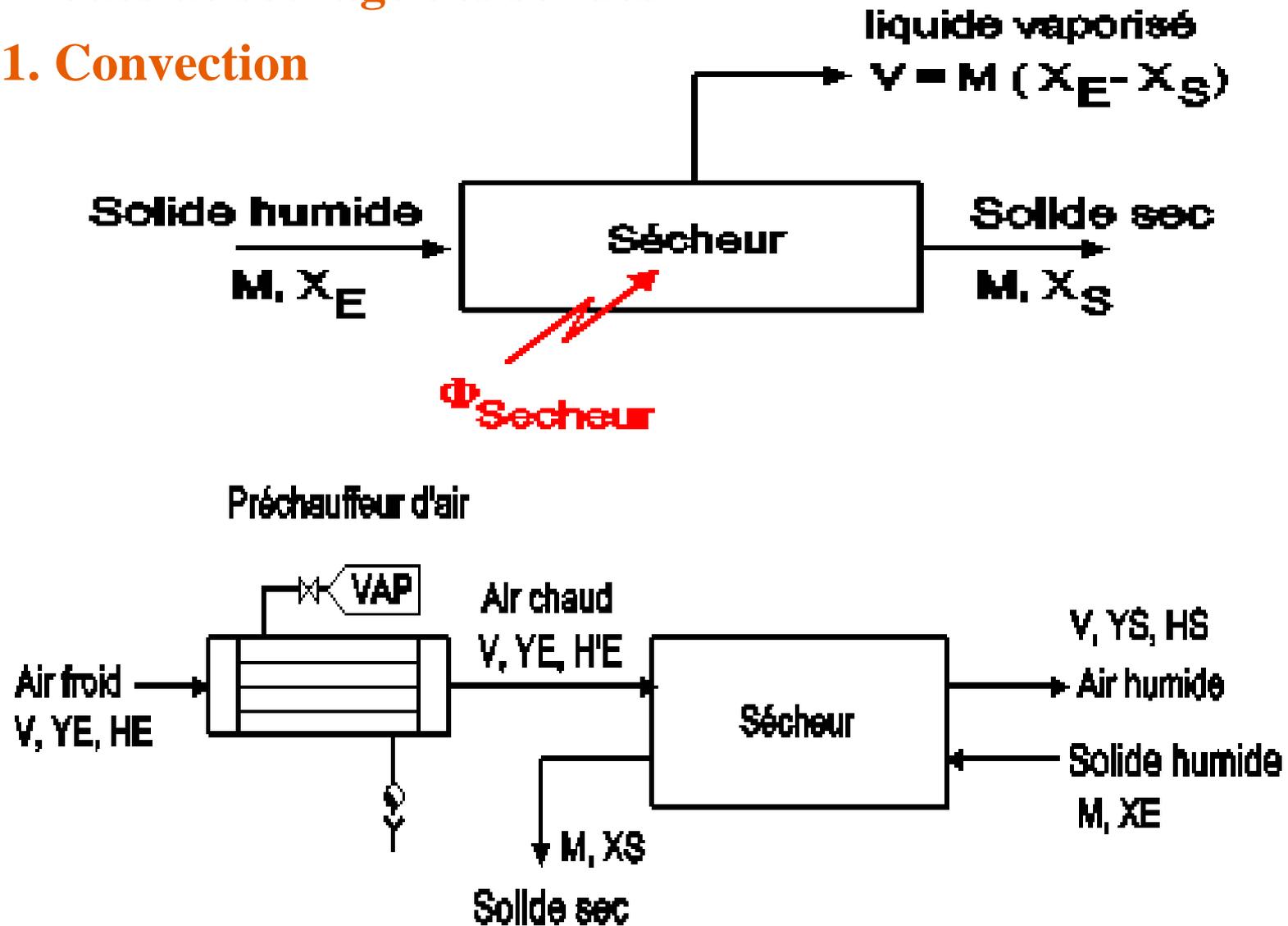
4.1. Convection

C'est le mode de séchage le plus fréquent dans l'industrie chimique: réaliser par le passage sur la matière à sécher d'un courant gazeux chaud (le plus sec possible) qui fournit la chaleur nécessaire à l'évaporation du liquide et entraîne la vapeur formée. La température du gaz diminue entre l'entrée et la sortie alors que c'est le contraire pour le solide.

CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

4. Modes de séchage des solides

4.1. Convection

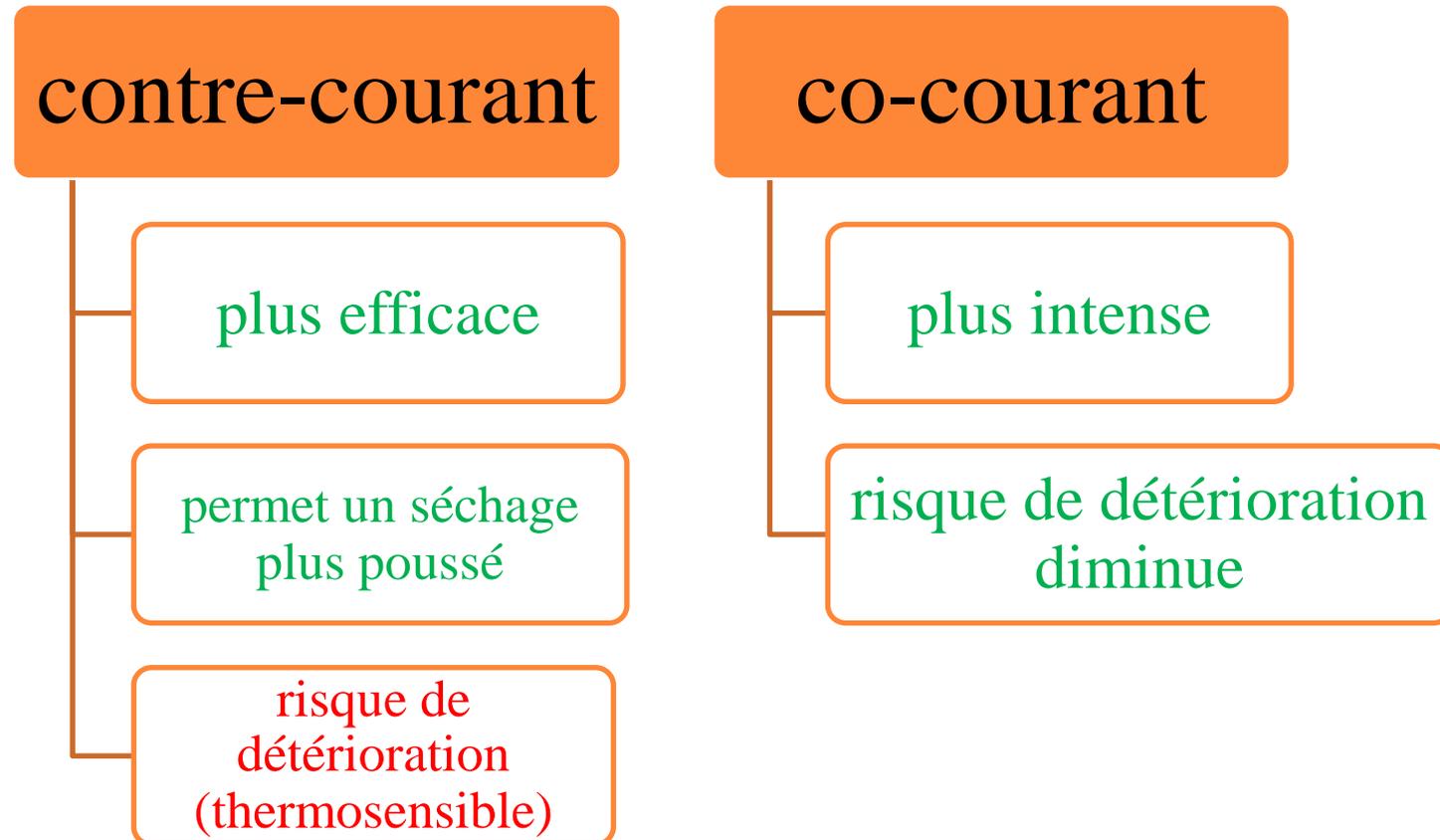


CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

4. Modes de séchage des solides

4.1. Convection

Dans un procédé en continu deux sens de circulation sont possibles pour le gaz et le solide à sécher.



CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

4. Modes de séchage des solides

4.1. Convection

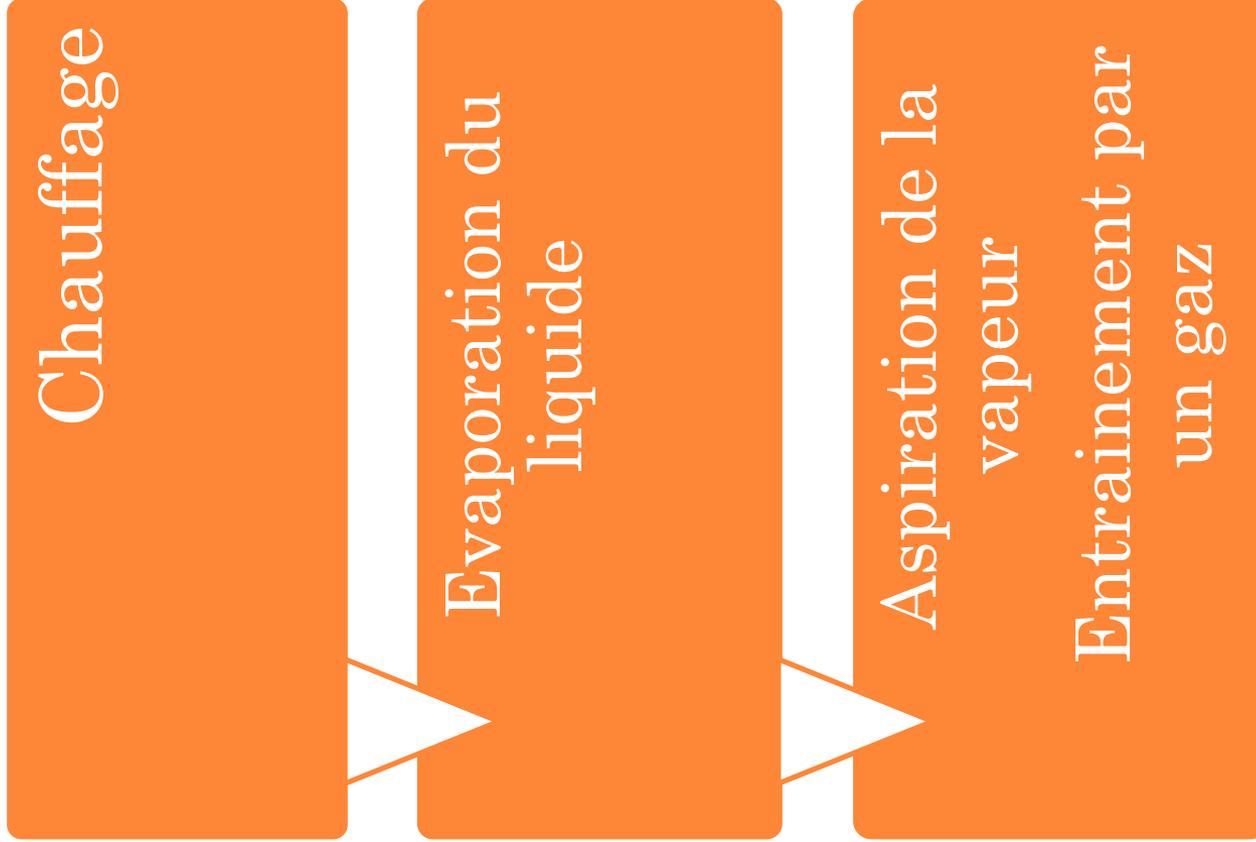
L'opération de séchage passe par trois périodes distinctes:

- une phase de mise en température du solide
- une phase de séchage à vitesse constante
- une phase de séchage à vitesse décroissante

CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

4. Modes de séchage des solides

4.2. Séchage par conduction (récupérer le solvant évaporé)



CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

4. Modes de séchage des solides

4.2. Séchage par conduction

On retrouve comme pour le séchage par convection deux périodes dans le cas d'un séchage discontinu:

- dans un premier période la vitesse de séchage est constante;
- dans une seconde période la vitesse de séchage ralentit

CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

4. Modes de séchage des solides

4.3. Séchage par rayonnement

Ce mode de séchage convient aux produits en plaques ou en films, donc de faible épaisseur. L'apport d'énergie s'effectue par ondes électromagnétiques générées soit par des dispositifs électroniques (micro-ondes) soit par élévation de la température d'un émetteur infrarouge.

En infrarouge le chauffage se manifeste sur des épaisseurs très faibles (500 μm). Le séchage par micro-ondes est encore peu fréquent dans l'industrie chimique: il présente les avantages d'être propre et facile à réguler.

CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

5. APPAREILLAGE

La classification des appareils peut s'effectuer suivant le procédé (continu, discontinu), le mode de séchage (convection, conduction, rayonnement, lyophilisation), ou le type de produits traités (solides en blocs, poudre, pâte, pulpe, film...).

CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

5. APPAREILLAGE

5.1. Séchage par conduction

Etuve:

Les étuves constituent un exemple de sécheurs en discontinu: elles conviennent pour de faibles quantités ou pour des produits coûteux exigeant des conditions de séchage très particulières.



CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

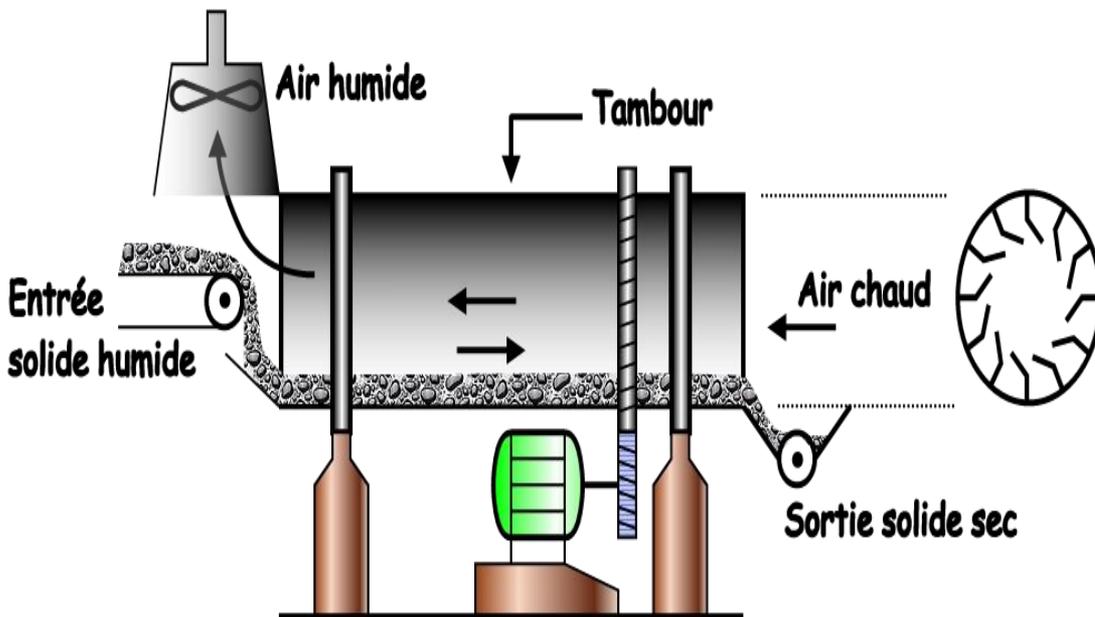
5. APPAREILLAGE

5.1. Séchage par conduction

On peut donner deux exemples de sécheurs continus:

- les sécheurs à tambour rotatif:

Sécheur à convection à tambour rotatif

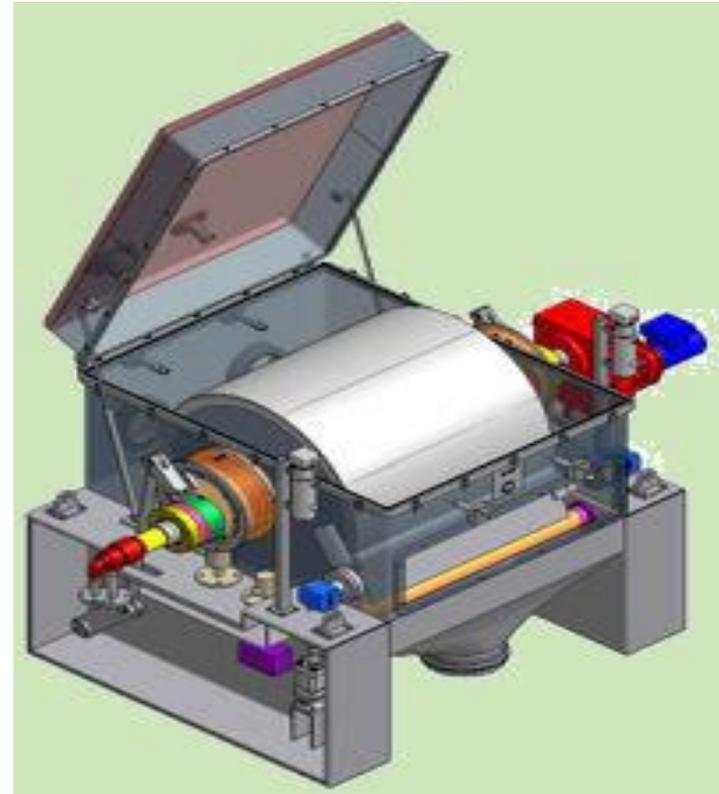


CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

5. APPAREILLAGE

5.1. Séchage par conduction

- les sècheurs à cylindres:



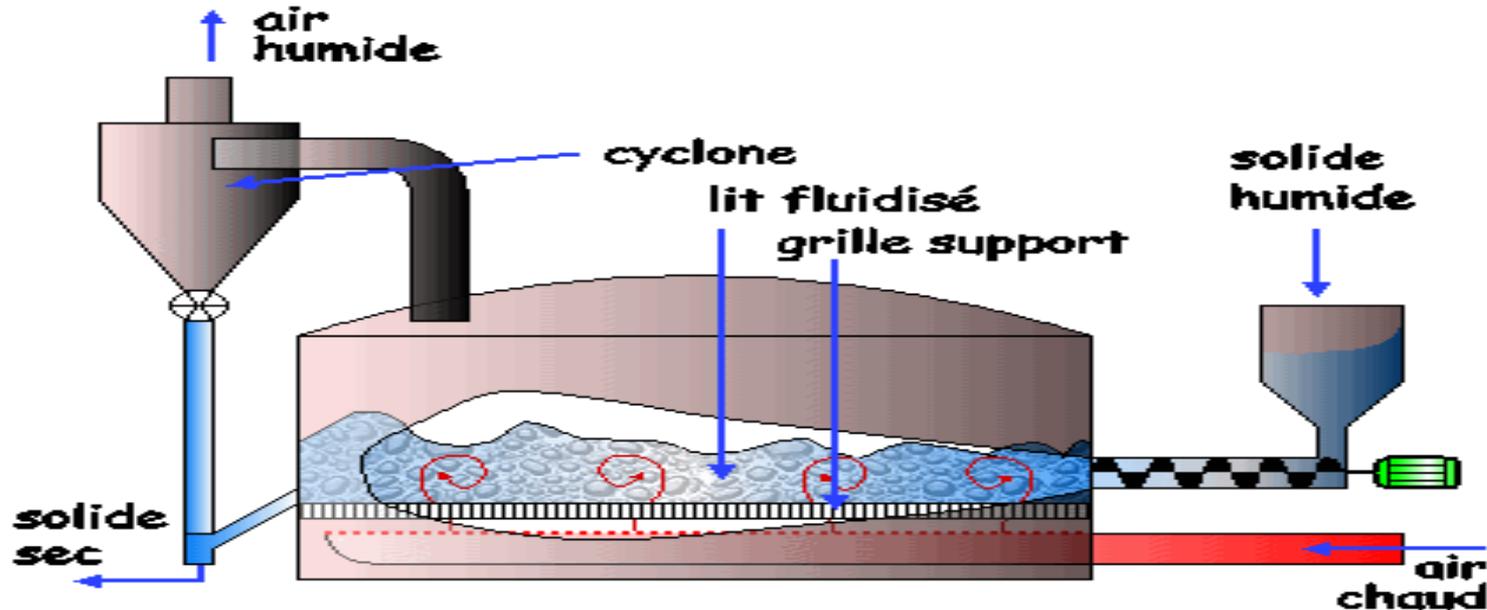
CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

5. APPAREILLAGE

5.2. Séchage par convection

Deux exemples importants de sècheurs continus peuvent être indiqués:

- les sècheurs à tambour rotatif: ils présentent de grandes analogies avec les sècheurs du même type fonctionnant par conduction mais ici l'air chaud est directement en contact avec le produit. Ce séchoir est adapté aux produits pulvérulents non collants.
- les sècheurs à lits fluidisés: ce séchoir convient pour des poudres divisées qui sont placées sur un support poreux. Un courant d'air chaud est soufflé sous la couche de matière et un lit fluidisé s'établit; les échanges thermiques sont alors intenses et l'efficacité du séchage est très grande.



CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

5. APPAREILLAGE

5.3. Séchage par atomisation

Ce procédé est applicable directement à des solutions, des émulsions ou des suspensions fines.

Le système de pulvérisation en très fines gouttelettes du liquide préchauffé conditionne l'efficacité du séchage. Il est constitué d'une turbine tournant à grande vitesse. L'air est introduit chaud par un disperseur dans la chambre. Pendant son trajet dans l'appareil, toute l'eau est évaporée par l'air.

Ces sécheurs fonctionnent en continu et s'appliquent à de grosses productions. Ils ont l'inconvénient de nécessiter la vaporisation de très grandes quantités de solvants et consomment donc beaucoup d'énergie ce qui freine leur développement. Beaucoup de produits peuvent être séchés par ce procédé:

- produits minéraux (pigments, engrais...)
- produits organiques (colorants, polymères, produits pharmaceutiques...)
- produits alimentaires
- lessives

CHAPITRE 3 : SÉCHAGE ET ÉVAPORATION

5. APPAREILLAGE

5.5. Sécheurs sous vide (sécheur à palette)

Le sécheur à palette est un appareil de séchage sous vide à axe horizontal. L'échange thermique est à la fois obtenu par rayonnement et conduction entre le solide humide et les parois métalliques internes de l'appareil (corps, arbre, portes) réchauffées par un fluide thermique circulant dans les doubles enveloppes. Grâce à sa conception qui lui confère une grande surface de conduction cet appareil est optimisé pour traiter de gros volumes. Son utilisation comme refroidisseur est également possible.

Le déchargement du produit est réalisé par une vanne hydraulique à piston située sous l'appareil.

