

Déshumidification

Déshumidification= réduire de la teneur en vapeur contenue dans l'air

Humidité élevée

- ❑ Crée souvent des problèmes de corrosion, de dégradation, d'inconfort et d'impossibilité de fabrication de certains produits
- ❑ favorise la formation de moisissures et entraîne la dégradation d'un bâtiment et/ou d'un produit
- ❑ risques pour sa santé humaine: maladies, infections, arthrite, asthme, allergies, rhumatismes

Déshumidification

- nécessaire donc au confort, mais elle a aussi une importance primordiale pour la préservation des bâtiments et des produits divers
- doit être faite aussi bien dans les bâtiments que pour de nombreux processus industriels

Déshumidification

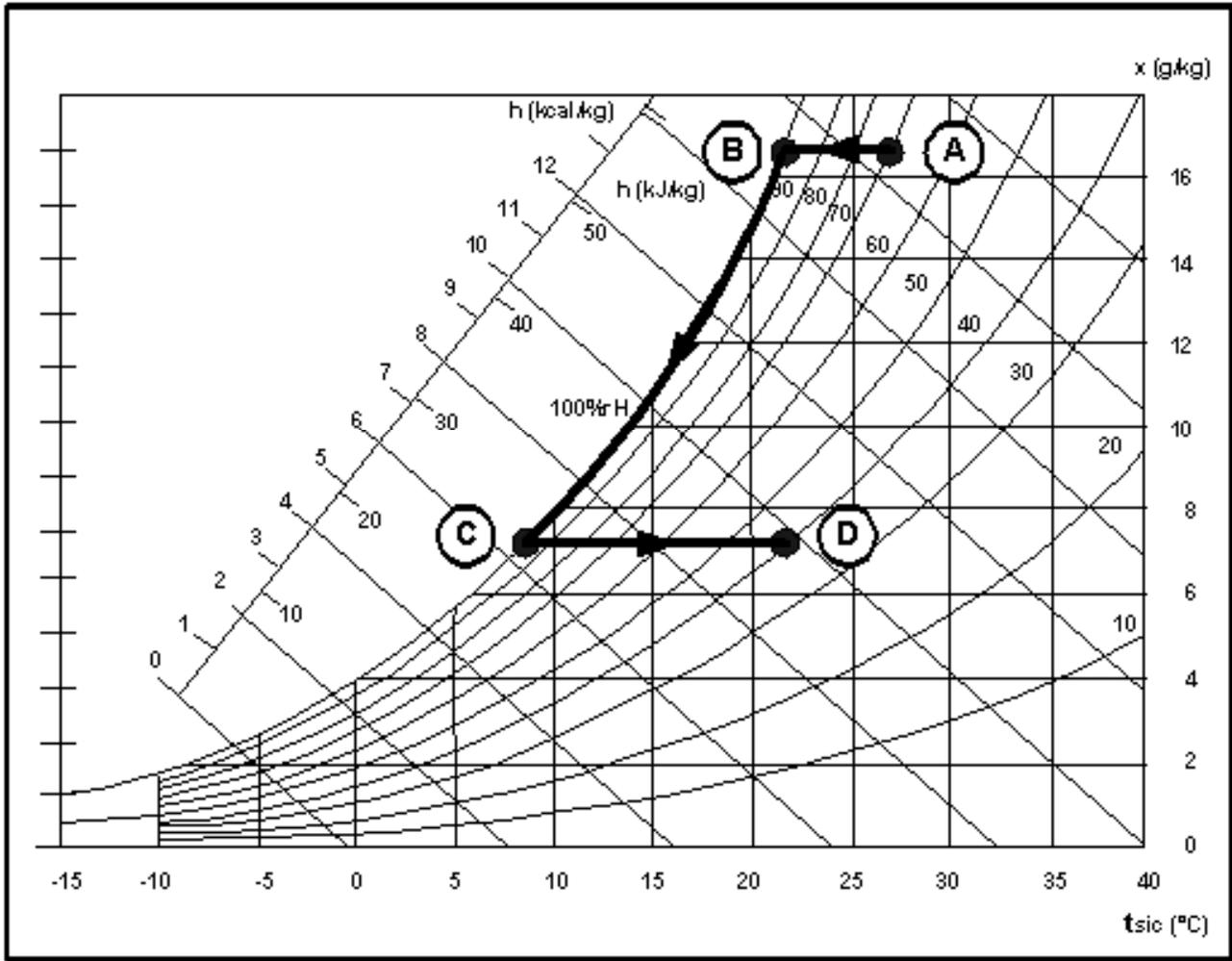
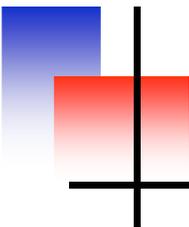
- s'effectue par le refroidissement de l'air jusqu'à ce que la vapeur d'eau se condense (humidité relative = 100 %) et puisse être évacuée comme liquide
- l'air est réchauffé ensuite à la température voulue et jeté dans l'enceinte

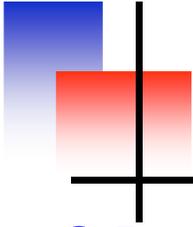
On a: de l'air a une température de 27 °C et une humidité relative de 70 %

On veut: de l'air à 22 °C et 40 % d'humidité relative

Donc: il doit être refroidi et déshumidifié pour atteindre ces valeurs







① La déshumidification par refroidissement

- **Faire passer de l'air humide sur une surface froide (batterie froide) dont la température est inférieure à celle du point de rosée**
- **Il y a alors condensation - l'air ainsi refroidi perd une partie de sa vapeur d'eau**
- **Les batteries froides sont alimentées soit par de l'eau glacée distribuée à partir d'une production de froid centralisée, soit par le fluide *frigorigène* produit par une machine frigorifique pour les systèmes autonomes**
- **L'eau de condensation doit être évacuée vers une vidange**
- **S'accompagne d'une baisse importante de la température : il est donc nécessaire de réchauffer l'air pour compenser**

② La déshumidification par adsorption

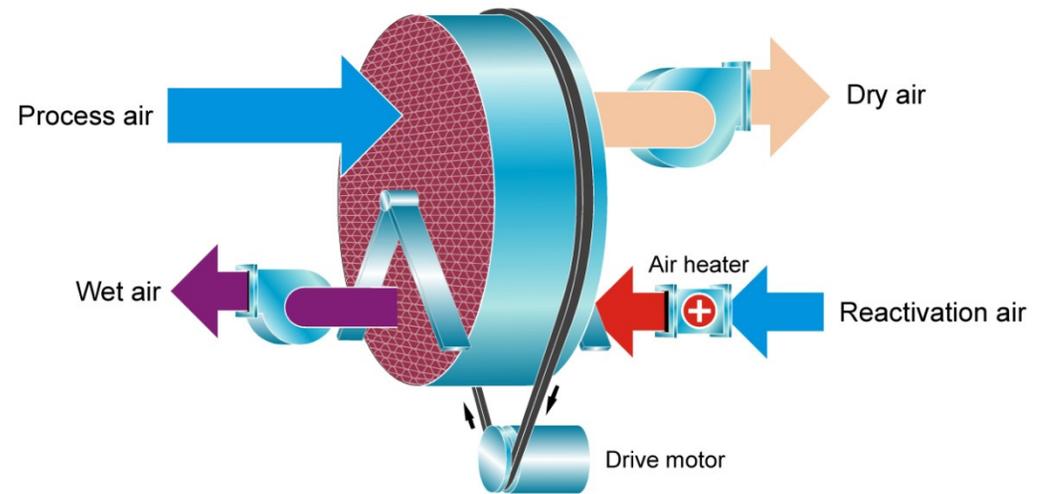
➤ *L'adsorption* est un phénomène physico-chimique entraînant la fixation de molécules de vapeur d'eau sur la surface d'un solide (adsorbant)

➤ gel de silice - a le pouvoir

d'absorber jusqu'à 50 % de son poids en eau, car il possède une importante surface d'échanges

➤ faire passer un débit d'air à travers un dispositif rotatif : une roue chargée de gel de silice piège une partie de l'humidité contenue dans cet air

➤ Une fois cet adsorbant saturé, on doit le régénérer pour éliminer l'humidité : cette régénération est assurée par le passage d'air réchauffé.



③ La déshumidification par absorption

- L'air humide est dirigé vers un liquide hygroscopique qui adsorbe la vapeur d'eau après condensation
- fluides utilisés: solutions aqueuses de sel (chlorure de lithium, bromure de lithium, chlorure de calcium)
- qu'il convient de régénérer lorsqu'ils arrivent à saturation
- type de déshumidification utilisé en laboratoire mais aussi en industrie



Détermination des caractéristiques d'un mélange d'air

Air A

- Débit massique = \dot{m}_1 kg AS/s;
- Humidité absolue = H_1 kg d'eau/kg AS;
- Température sèche = T_1 (°C)
- Enthalpie = h_1 (kJ/kg AS)

Air B

- Débit massique = \dot{m}_2 kg AS/s;
- Humidité absolue = H_2 kg d'eau/kg AS;
- Température sèche = T_2 (°C)
- Enthalpie = h_2 (kJ/kg AS)

Débit massique total (air A + air B)

$$(1.41) \quad \dot{m}_T \cdot H_T = \dot{m}_1 \cdot H_1 + \dot{m}_2 \cdot H_2 \quad \Longrightarrow \quad H_T = \frac{\dot{m}_1 \cdot H_1 + \dot{m}_2 \cdot H_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} \quad (1.42)$$

Bilan d'énergie (air A + air B)

$$(1.43) \quad \dot{m}_T \cdot h_T = \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 \quad \Longrightarrow \quad h_T = \frac{\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} \quad (1.44)$$

$$(1.45) \quad h_T = 2499,6 \cdot H_T + (1,005 + 1,881 \cdot H_T) \cdot T$$

Exercice d'application 1.10

De l'air ayant un débit de $\dot{m}_1 = 1800 \text{ kg/h}$ dont la température est $T_1 = 50 \text{ °C}$ et la teneur en eau $H_1 = 0,02 \text{ kg d'eau par kg d'air sec}$ est mélangé à de l'air ayant un débit de $\dot{m}_2 = 3600 \text{ kg/h}$ dont la température est $T_2 = 65 \text{ °C}$ et la teneur en eau $H_2 = 0,04 \text{ kg d'eau par kg d'air sec}$. Calculer la teneur en eau, l'enthalpie et la température du mélange.

$$(1.42) \quad H_T = \frac{\dot{m}_1 \cdot H_1 + \dot{m}_2 \cdot H_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} \quad H_T = 0,033 \text{ kg eau / kg AS}$$

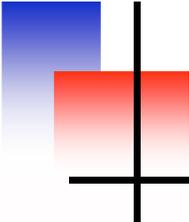
$$(1.44) \quad h_T = \frac{\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2}$$

$$(1.45) \quad h_T = 2499,6 \cdot H_T + (1,005 + 1,881 \cdot H_T) \cdot T \quad h_1 = 102,12 \text{ kJ / kg AS}$$

$$h_1 = 2499,6 \cdot H_1 + (1,005 + 1,881 \cdot H_1) \cdot T \quad h_2 = 170,2 \text{ kJ / kg AS}$$

$$h_T = 147,51 \text{ kJ / kg AS}$$

$$T = 60,33 \text{ deg C}$$



Chap. 2. SÉCHAGE

- ❁ **Définitions et applications**
- ❁ **Comportement général du séchage**
- ❁ **Méthodes de séchage**
- ❁ **Appareillage**
- ❁ **Problèmes rencontrés**
- ❁ **Transfert de matière**
- ❁ **Transfert d'énergie**

Chap. 2. SÉCHAGE

SÉCHAGE

- ❁ Chauffer un produit dans des conditions contrôlées afin d'évaporer la majorité d'eau (ou un autre solvant) qu'il contient
- ❁ Déshydratation - synonyme du séchage mais il a un sens plus restrictif car il ne s'applique qu'à l'élimination de l'eau
- ❁ But: éliminer par vaporisation un liquide volatil contenu dans un corps (produit) non volatil
- ❁ deux phénomènes simultanés : 1) transfert de chaleur externe (qui apporte l'énergie nécessaire au changement de phase de l'eau (liquide en vapeur); 2) un transfert de chaleur interne de l'eau en vapeur dans le produit à sécher

Humidité : m_{eau} (kg)/ 1 kg de solide sec

Chap. 2. SÉCHAGE

température de séchage

vitesse de l'air autour du produit

humidité relative

la surface du produit en contact avec l'air

Influencent sur la



Vitesse de séchage

Qualité du produit séché

Coût de séchage

SÉCHAGE = opération unitaire qui implique

- un transfert de matière (le liquide imprégnant le solide (liquide) passe à l'état de vapeur dans une phase gazeuse)
- un transfert thermique (une fourniture de chaleur permet le changement de phase du liquide)

Séchage consomme environ 15 % de l'énergie industrielle dans les pays développés

Chap. 2. SÉCHAGE



Bilan de matière sur l'eau

Eau cédée par le solide =
Eau captée par l'air

Bilan d'énergie

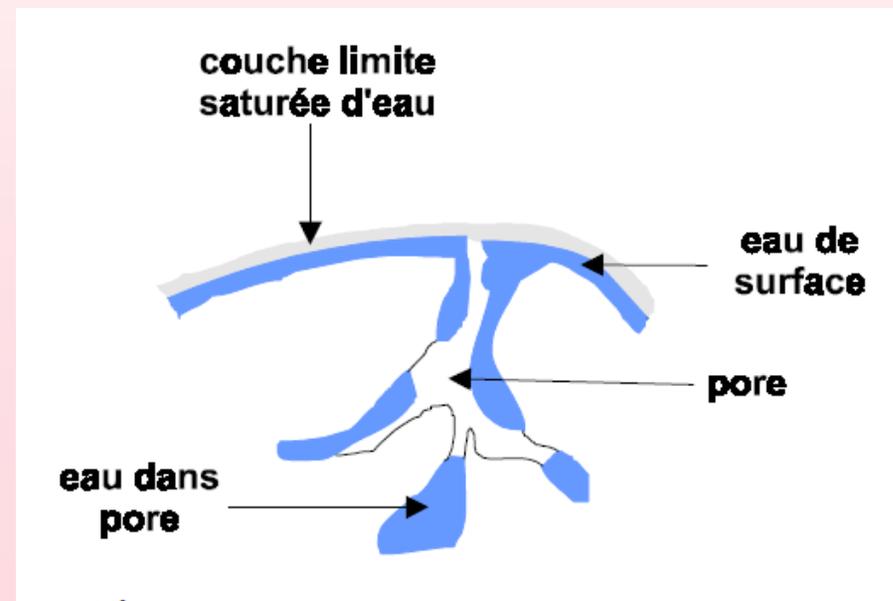
Énergie cédée par la vapeur
=
Énergie captée par l'air

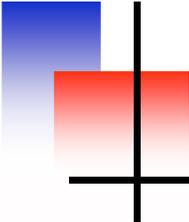
Chap. 2. SÉCHAGE

- ❑ Toutes les parties d'un même produit n'ont pas le même comportement vis à vis de l'eau
- ❑ Cela varie aussi d'un produit à l'autre, suivant sa composition biochimique
- ❑ Lorsque le produit est très humide, l'eau qu'il contient est qualifiée de « libre »
- ❑ Lors du séchage, l'eau libre se comporte comme de l'eau pure

Il suffit pour la vaporiser d'environ 2250 kJ/kg.

- ❑ Lorsque le produit est plus sec, l'eau est davantage retenue par celui-ci et on la qualifie de « liée »
- ❑ L'évaporation de cette eau est plus difficile et demande plus d'énergie



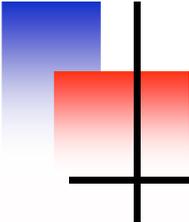


Chap. 2. SÉCHAGE

- ❑ Au cours du séchage c'est d'abord l'eau libre qui va être évaporée, puis l'eau de plus en plus liée
- ❑ La quantité d'énergie nécessaire pour vaporiser la même quantité d'eau augmente au cours du séchage
- ❑ Le dernier gramme d'eau évaporé coûte beaucoup plus d'énergie que le premier

Tableau 2.1. Consommation d'énergie de différents types de sècheurs

Type de sécheur	Consommation d'énergie (kJ/kg d'eau évaporée)
Atomiseur	5000
Sécheur à tambour (rotatif)	4000
Sécheur tunnel	4000



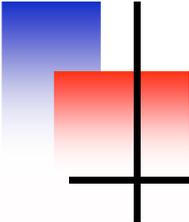
Chap. 2. SÉCHAGE

Haut coût énergétique du séchage – complète les procédés de séparation mécanique

- ✓ Sédimentation
- ✓ Filtration
- ✓ Essorage
- ✓ Centrifugation

POURQUOI SÉCHER ???

- le produit humide **se conserve mal** (hydrolyse possible, modification de l'aspect physique par agglomération)
- le liquide doit être enlevé pour le déroulement de la suite du procédé puisque ce **liquide résiduel est incompatible** avec la suite du procédé
- l'enlèvement de l'eau donne la **texture et la structure finale** du produit et constitue une étape à part entière du procédé
- le coût du transport** est plus élevé en présence de liquide

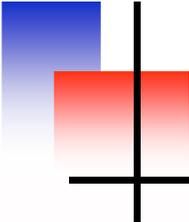


Chap. 2. SÉCHAGE

- ❑ de manière intuitive - sécher avec un air plus chaud va prendre moins de temps qu'un séchage avec un air « tiède »
- ❑ Si on considère l'aspect productivité, on a donc tout intérêt à sécher à haute température
- ❑ Cependant une température élevée peut altérer le produit fini

Applications

- Produits chimiques solides
- Biotechnologie et produits pharmaceutiques (levures , antibiotiques)
- Matériaux de construction (briques, carrelages)
- Industrie céramique (bols, assiettes,etc.)
- Matières plastiques
- Papiers
- Bois



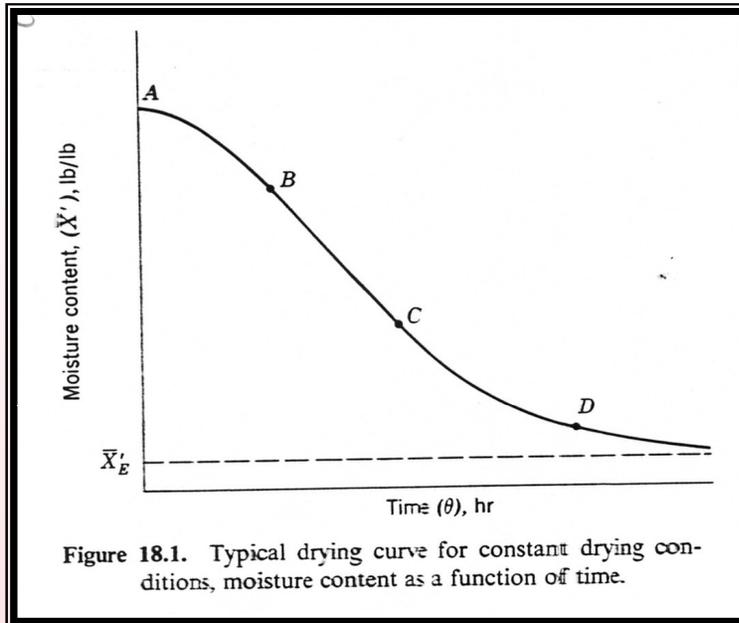
Chap. 2. SÉCHAGE

Produits agro- alimentaires

- les pâtes alimentaires
- la viande fumée : saucisson, jambon...
- les fromages : séchage dans une ambiance contrôlée
- les légumes (pois,...) et fruits secs (pruneaux, raisins, abricots...)
- certains biscuits apéritifs sont produits par séchage à l'air chaud à partir d'une pâte de maïs
- les jus de fruits sont préparés à partir d'un concentré obtenu par vaporisation
- le sel (gisement minier) est concassé, dissout, épuré avant d'être essoré et séché jusqu'à devenir du sel raffiné
- la conservation de beaucoup de types de grains ou de végétaux est assurée par le séchage
: café, cacao, riz et autres céréales, feuilles de thé, épices...
- Certains produits en poudre : cacao, lait, etc.

Chap. 2. SÉCHAGE

Graphiques types



Teneur en humidité en fonction du temps

\bar{X}'_E = humidité d'équilibre

Taux de séchage en fonction de la teneur en humidité

