

ANNEXE 2 : PRESENTATION ET UTILISATION DU DIAGRAMME ENTHALPIQUE DE L'AIR HUMIDE OU DIAGRAMME DE MOLLIER

Le diagramme enthalpique de l'air est un abaque composé de plusieurs familles de courbes qui permettent de relier entre elles les principales variables caractéristiques de l'air humide :

- sa température humide
- sa température sèche
- son degré d'humidité relative
- son degré d'humidité absolue (= teneur en eau)
- son enthalpie

On peut ensuite en déduire sa teneur en eau maximale, son pouvoir évaporatoire...

1. DEFINITIONS DES GRANDEURS DE L'AIR

*** Pouvoir évaporatoire**

Pouvoir évaporatoire : capacité de l'air à absorber de l'eau placée à son contact. Il est mesuré en grammes d'eau supplémentaires qu'il peut absorber, par m^3 d'air, jusqu'à atteindre la saturation d'eau.

*** Humidité absolue et humidité relative**

L'air humide est composé d'air sec et de vapeur d'eau.

Deux paramètres sont introduits pour quantifier les proportions entre l'air sec et la vapeur d'eau contenue dans l'air :

① **L'humidité absolue x** (teneur en eau), qui s'exprime en grammes d'eau par kg d'air sec. Par exemple si $x = 10$ g/kg d'air sec, dans 1kg d'air on a 990 g d'air sec et 10 g de vapeur d'eau.

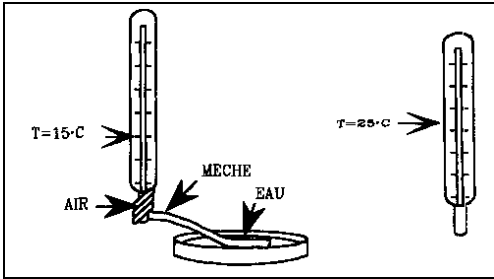
② **L'humidité relative H_R** (degré hygrométrique = hygrométrie), qui s'exprime en pourcentage. Cette valeur précise le niveau d'humidité absolue de l'air par rapport à son niveau d'humidité absolue maximal possible (qui dépend de la température de l'air et de la pression). Elle permet donc de connaître le niveau de saturation de l'air en eau.

*** Relation entre humidité relative, température sèche et température humide**

Pour évaluer le pouvoir évaporatoire d'une quantité d'air donné, il faut en connaître son degré hygrométrique (H_R). On utilise alors la notion de température humide (T_h)

La température sèche T : il s'agit de la température du mélange (air sec + vapeur d'eau). Elle se mesure avec un thermomètre usuel.

La température humide T_H : il s'agit de la température de l'air au contact de l'eau. Elle se mesure avec un thermomètre dont l'ampoule est entourée d'une mèche humide et est légèrement ventilée. Il faut que la vitesse de l'air autour du thermomètre soit d'au moins 2m/s pour que la mesure soit juste.



Document 1 : le psychromètre permet d'obtenir une mesure de la température sèche et de la température humide de l'air

Explications :

Au contact de l'air non saturé ($H_R < 100\%$) l'eau s'évapore.

L'évaporation (changement d'état de l'eau) nécessite de l'énergie appelée chaleur latente.

L'air transfère cette énergie sous forme de chaleur à l'eau pour qu'elle puisse s'évaporer.

Ainsi la température de l'air est diminuée au contact de l'eau qui s'évapore.

Plus l'hygrométrie de l'air est faible, plus il y a d'évaporation, plus l'air cède de la chaleur, plus il se refroidit.

Ainsi, la différence entre la température humide de l'air T_H et sa température sèche T est d'autant plus grande que l'hygrométrie de l'air H_R est faible.

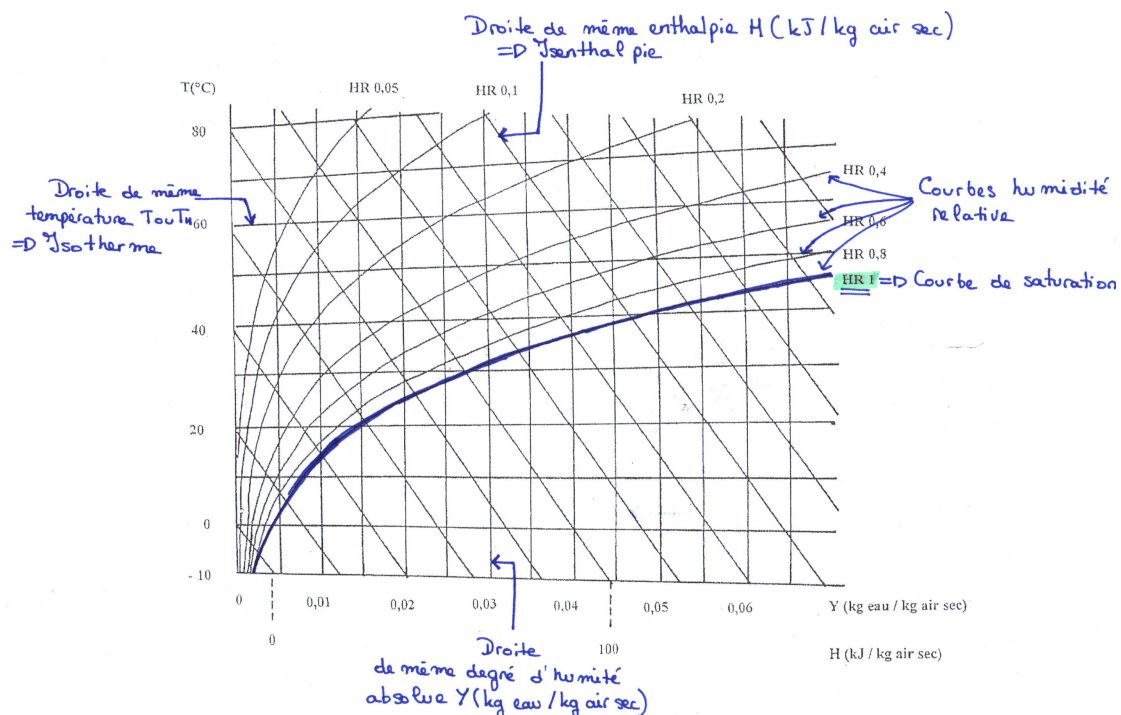
Si l'air est saturé en eau, il ne peut pas y avoir d'évaporation. La différence entre T et T_H s'annule.

2. PRESENTATION DU DIAGRAMME DE MOLLIER.

A pression atmosphérique, il existe des expressions mathématiques reliant température sèche (T), température humide (T_H), humidité relative (H_R) et humidité absolue (x). Pour plus de facilité on utilise le diagramme de l'air humide (de Mollier) qui permet, connaissant deux de ces valeurs, de connaître les deux autres.

Le diagramme comporte 4 catégories de courbes :

- les droites de même température → les droites isothermes
- les droites de même enthalpie → les droites isenthalpiques
- les droites de même degré d'humidité absolue
- les courbes d'humidité relative dont la courbe de saturation (où $H_R = 100\%$)



Document 2 : diagramme de Mollier

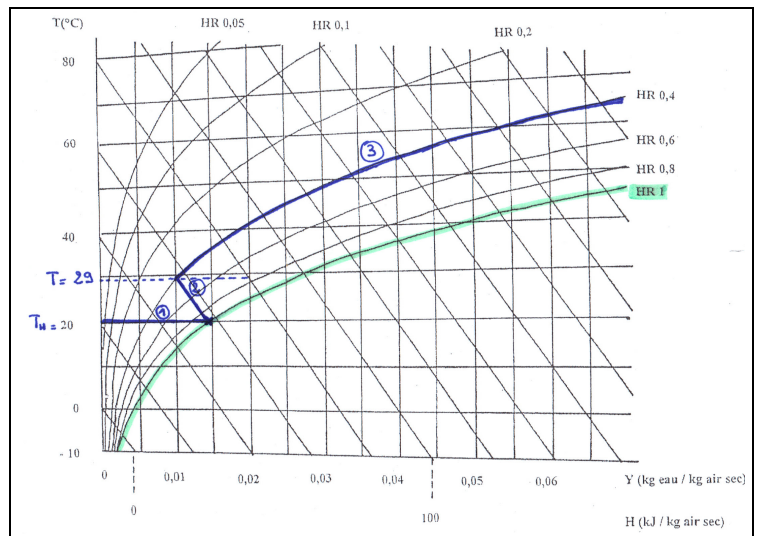
3. DETERMINATION DES HUMIDITES RELATIVE ET ABSOLUE DE L'AIR AMBIANT A PARTIR DES TEMPERATURES SECHE ET HUMIDE

- ① La température humide est reportée sur la courbe de saturation (l'air se sature en eau au contact de l'eau)
- ② On remonte la courbe de l'enthalpie jusqu'à l'isotherme de l'air sec (l'enthalpie de l'air humide est identique à celle de l'air sec)
- ③ L'humidité relative de l'air ambiant est déterminée par extrapolation grâce au point d'intersection :
 - de l'isotherme de l'air sec
 - de l'enthalpie
- ④ L'humidité absolue est déterminée au niveau du même point d'intersection par lecture verticale.

Ex : Quelles sont les humidités absolue et relative de l'air ambiant pour $T = 29^{\circ}\text{C}$ et $T_H = 20^{\circ}\text{C}$?

On trouve graphiquement :

- $H_R = 0,4$
- $x = 0,01$ kg d'eau par kg d'air sec

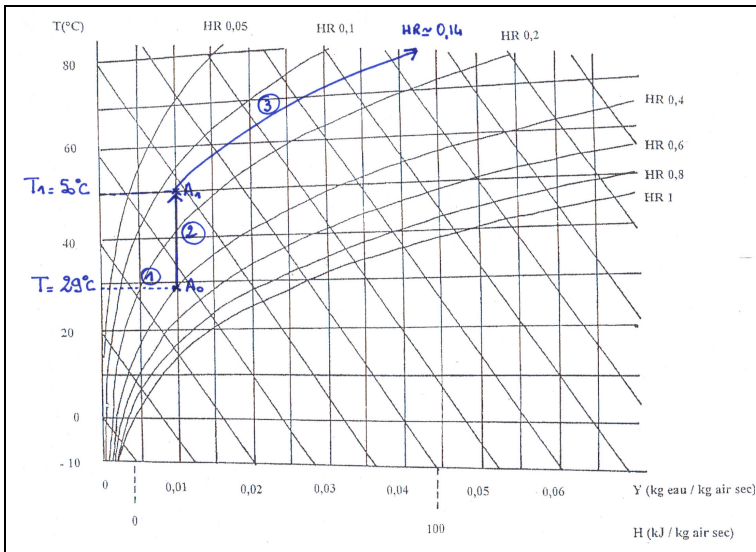


4. SUIVI DU PROCESSUS DE SECHAGE SUR LE DIAGRAMME DE MOLLIER

* Détermination de l'humidité relative de l'air chaud entrant

- ① L'air ambiant extérieur représenté par le point A_0 (A_0 est caractérisé par sa température sèche T_0 , son degré d'hygrométrie absolue x_0 , son humidité relative H_{R0}).
- ② Lors du séchage, l'air s'échauffe sans modification de son degré d'hygrométrie absolue. Juste avant le contact avec le produit il est caractérisé par le point A_1 : température sèche T_1 (température de séchage) et degré d'hygrométrie absolue x_0 .
- ③ L'humidité relative est déterminée par extrapolation grâce au point d'intersection :
 - de l'isotherme de l'air chaud
 - de l'humidité absolue

Ex : Dans un séchoir, quelle est l'humidité relative de l'air chaud entrant à 50°C sachant que la température sèche de l'air ambiant est de 29°C et que sa teneur en eau est de 0,01 kg d'eau par kg d'air.



On trouve graphiquement $H_R = 0,14$

*** Détermination de la température et de l'humidité absolue de l'air sortant du sécheur**

Au contact du produit humide, l'air se charge en eau et gagne 80% à 100% d'humidité relative. Il cède sa chaleur pour permettre l'évaporation de l'eau. Ainsi la température de l'air diminue.

L'échange énergétique entre l'eau et l'air se fait de façon :

- isenthalpique
- avec un gain de 80 à 100% d'hygrométrie

En suivant la droite des isenthalpes jusqu'à la courbe d'humidité relative correspondante, on peut ainsi déterminer le point A2 qui représente l'air à la sortie de l'enceinte.

Cet air a une température T2 et une humidité relative x2.

Ex : Quelles est la température de l'air et quelle est sa teneur en eau en sortie d'un séchoir qui fonctionne avec une température de chauffe de 50°C et une température sèche ambiante de 29°C ? On considère que l'air se sature en eau au contact du produit ($H_R = 1$)

On trouve graphiquement :

- $T_2 = 25^\circ\text{C}$
- $x_2 = 0,02$ kg d'eau par kg d'air sec

