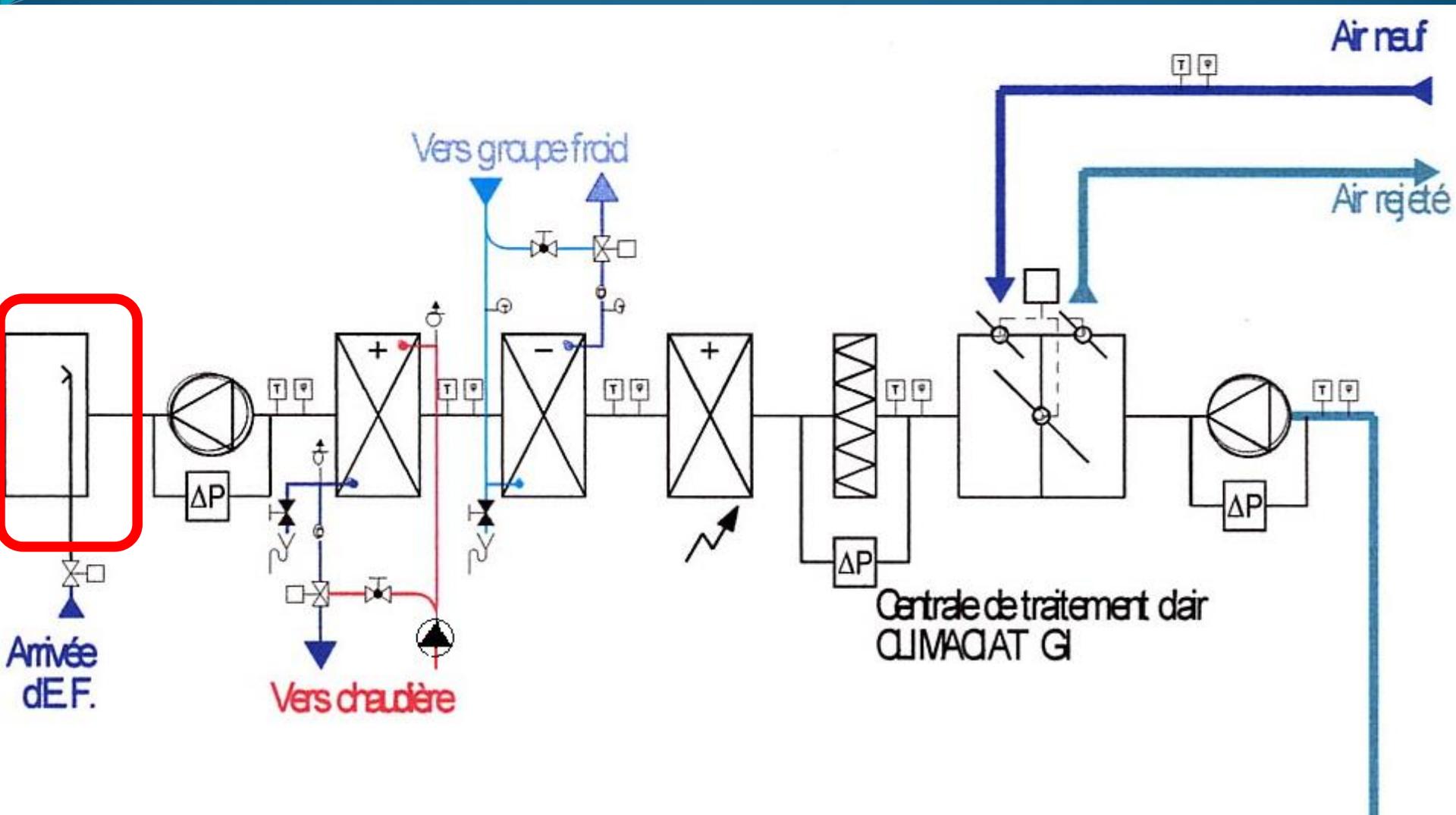
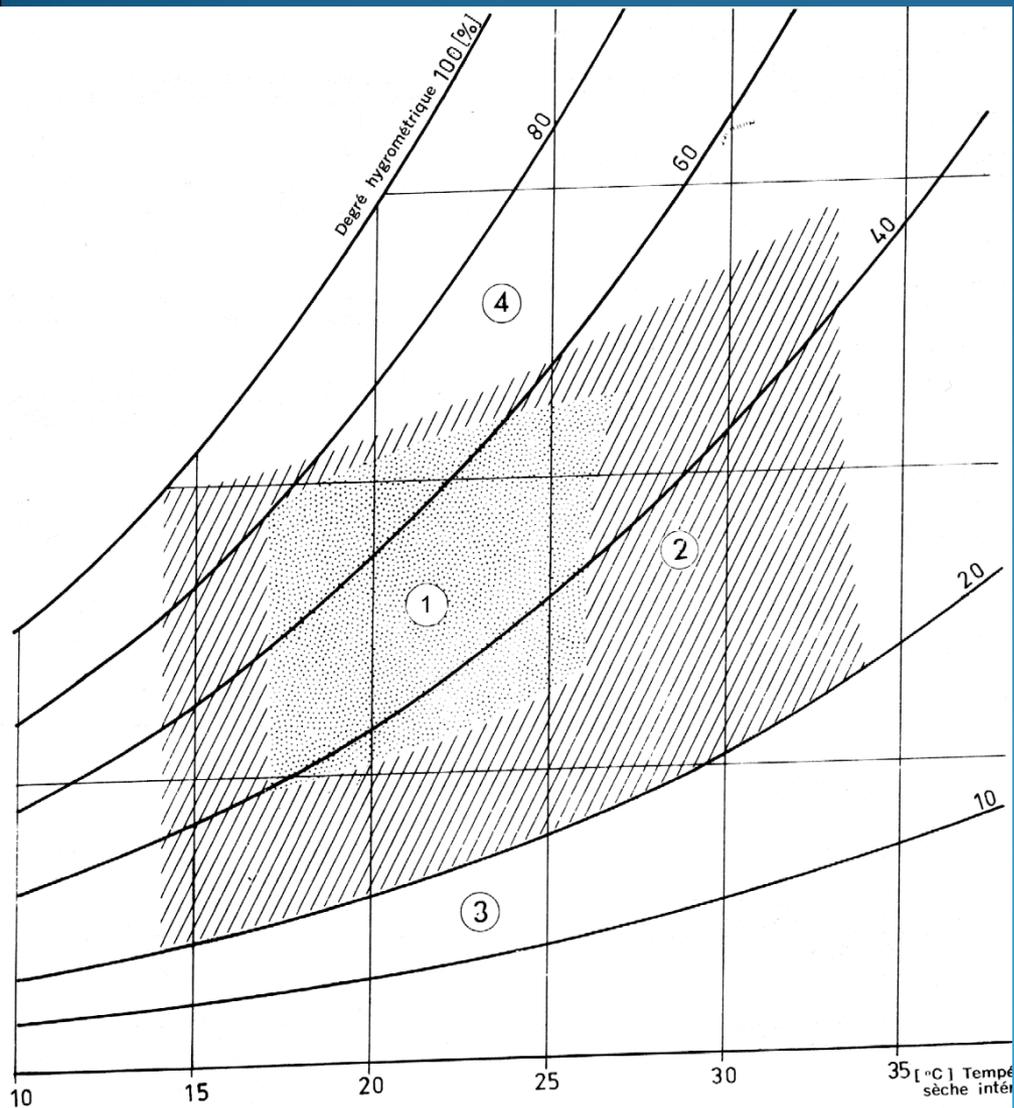


# Traitement de l'humidité de l'air

# Mise en situation :



# 1. L'humidité :



1 : Zone de grand confort

2 : Zone de confort acceptable

3 : Zone de gêne respiratoire

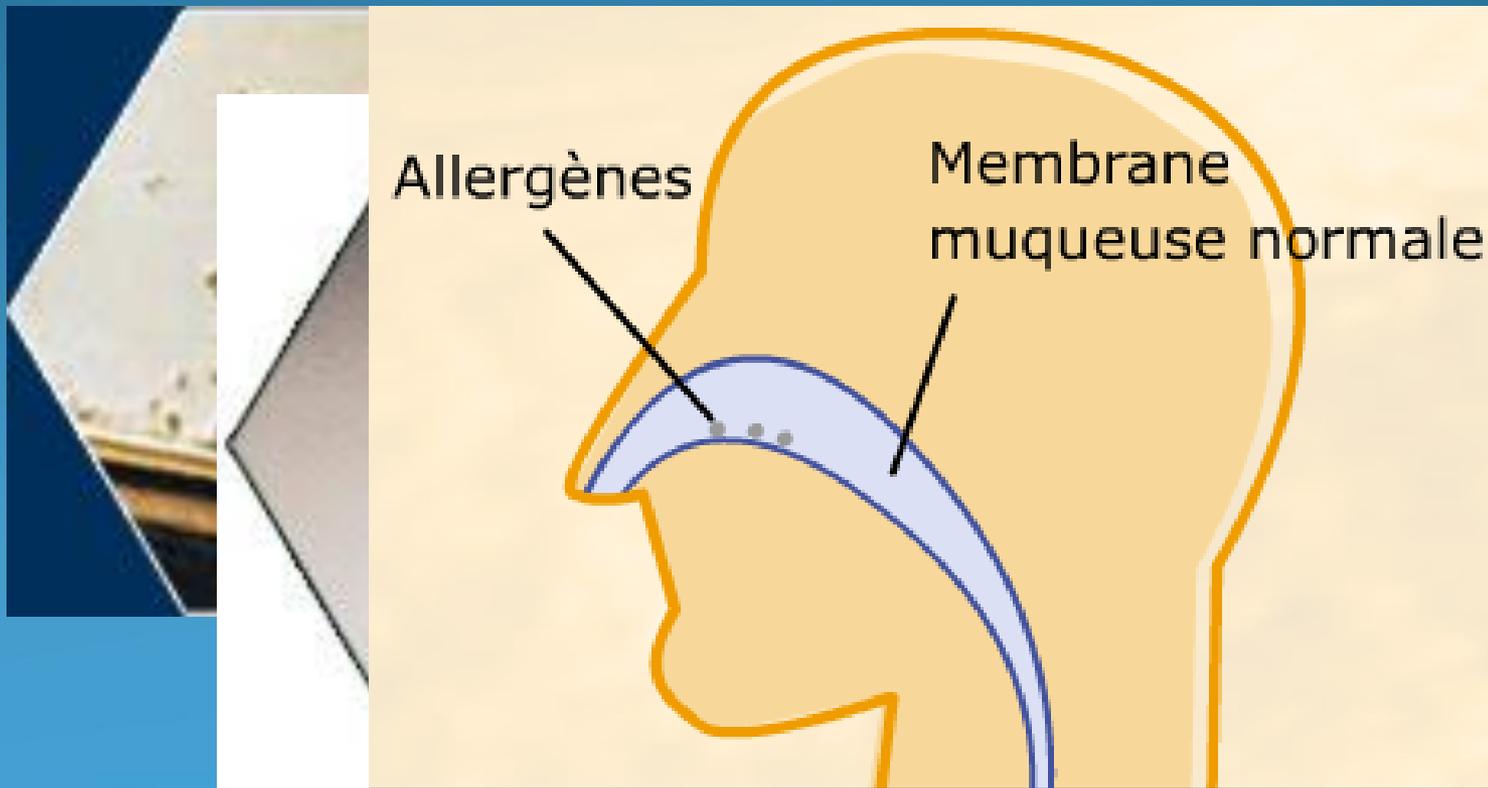
4 : Zone de sensation d'étouffement

# 1. L'humidité :

## a. Les problèmes liés à l'humidité

Les problèmes liés à l'humidité peuvent être physiologique mais également matériel.

### Taux d'humidité excessive :



# 1. L'humidité :

## a. Les problèmes liés à l'humidité

### Taux d'humidité excessive :

Une humidité trop importante entraîne une ambiance lourde et étouffante, mais elle engendre également, chez certaines personnes, des risques d'allergie respiratoire qui se traduit par des crises d'asthme et des rhinites.

Les problèmes matériels sont également très importants et sont dus à la condensation de l'humidité contenue dans l'air sur des parois froides. Les papiers peints qui se décollent, la peinture qui s'écaille et les traces de moisissures sont des signes visibles d'une humidité excessive.

# 1. L'humidité :

## a. Les problèmes liés à l'humidité

### Taux d'humidité trop faible :



# 1. L'humidité :

## a. Les problèmes liés à l'humidité

### Taux d'humidité trop faible :

Une affection des voies respiratoires comme la toux, l'enrouement, la peau sèche et des lèvres gercées sont souvent la conséquence directe d'un air trop sec.

Pour les matériaux, certains d'entre eux nécessitent un minimum d'humidité, sans quoi ils deviennent friables. Un air trop sec augmente les charges électrostatiques menaçant les ordinateurs et les imprimantes.

# 1. L'humidité :

## a. Les taux d'humidité conseillés

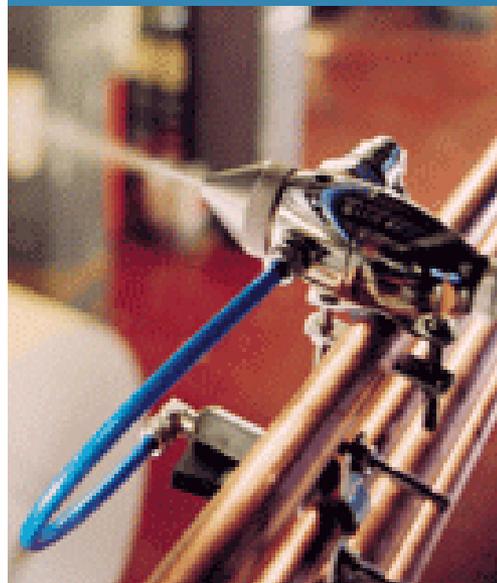
Pour le confort et le bien être des occupants, le taux d'humidité dans un local devrait toujours être compris entre 40 et 60 % selon la saison. Il faudra dans tous les cas veiller à ce que ce taux ne chute pas en dessous de 20% et ne dépasse pas les 75%.

## 2. L'humidification :

### a. Les différents systèmes d'humidification

L'humidification se fait soit par injection d'eau, soit par injection de vapeur dans le flux d'air à humidifier. Les dispositifs d'humidification sont nombreux, mais on peut le regrouper en deux catégories :

Humidification



## 2. L'humidification :

### a. Les différents systèmes d'humidification

#### Humidification par injection d'eau

L'eau est pulvérisée par des gicleurs dans le flux d'air ou sur une surface de ruissellement qui permettra une meilleure humidification de l'air. Très employé autrefois, il doit être suivi d'une batterie chaude.

La stagnation et la recirculation de l'eau favorisant le développement de bactéries, il faudra prévoir une désinfection régulière de l'eau.

On appelle généralement ce type d'humidificateur Laveur.

Attention : Cet appareil est interdit dans l'humidification des salles dites propres (salle d'opération, laboratoire, ...)

## 2. L'humidification :

### a. Les différents systèmes d'humidification

#### Humidification par injection de vapeur



## 2. L'humidification :

### a. Les différents systèmes d'humidification

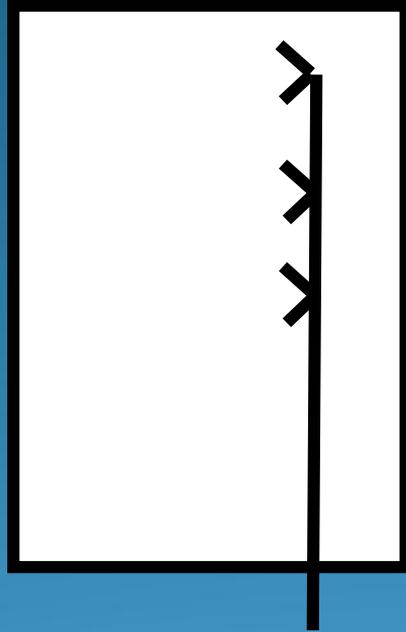
#### Humidification par injection de vapeur

On injecte de la vapeur d'eau soit directement dans le conduit, soit dans la CTA. Ce type d'humidificateur remplace les laveurs du fait des problèmes d'hygiène.

Il est plus facile à entretenir et permet une régulation plus simple et précise de l'humidité. Il évite le refroidissement de l'air pendant l'humidification et il n'est pas nécessaire d'installer une batterie chaude après l'humidificateur.

## 2. L'humidification :

### b. Symbolisation



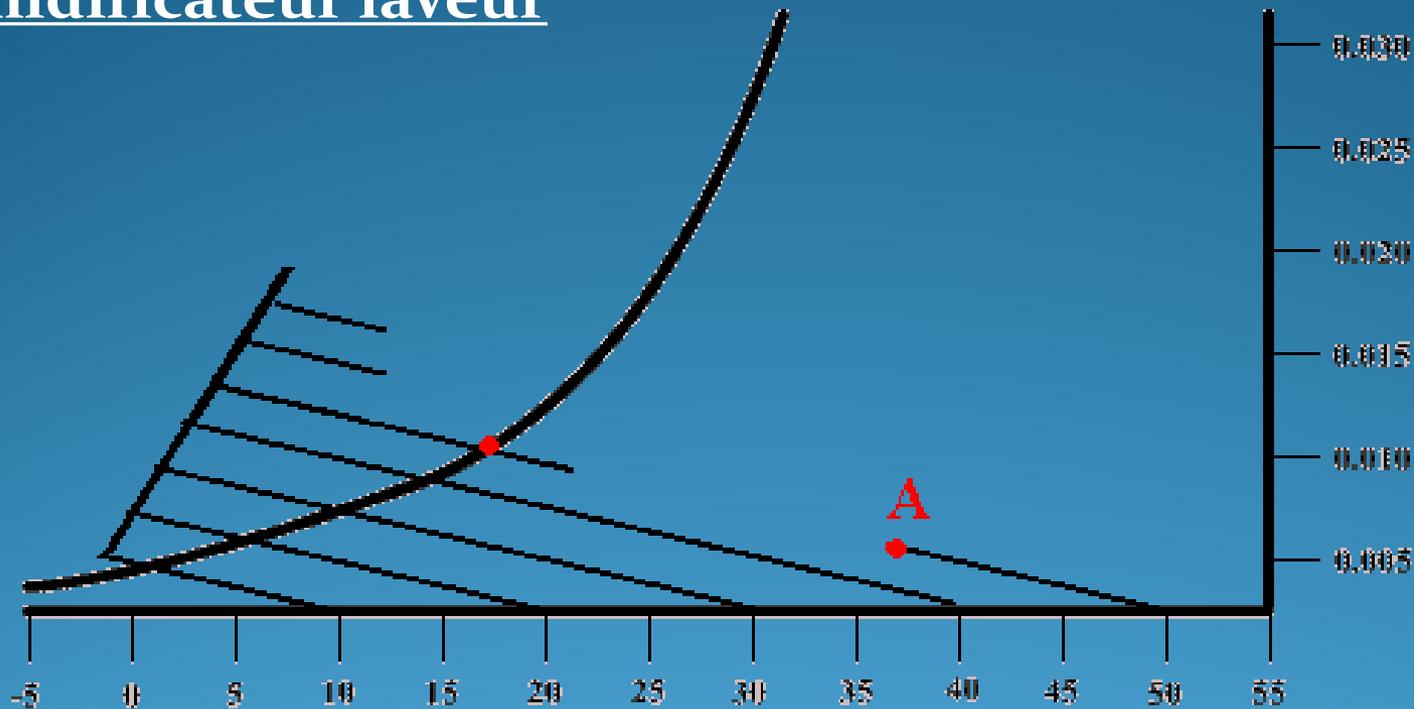
PS : L'humidificateur vapeur présentera généralement un V  
au niveau de l'arrivée

L'humidificateur laveur présentera généralement un EF au  
niveau de l'arrivée de l'eau.

## 2. L'humidification :

### c. Evolution sur le diagramme de l'air humide

#### Humidificateur laveur



PS : L'humidification est dite adiabatique (pas d'échange de chaleur avec l'extérieur) . L'évolution se fait à égale température humide. Pour simplifier on estimera qu'elle est isenthalpe, sur la même ligne d'enthalpie.

## 2. L'humidification :

### c. Evolution sur le diagramme de l'air humide

#### Humidificateur laveur

L'efficacité ou rendement d'un tel humidificateur peut être déterminée par la formule suivante :

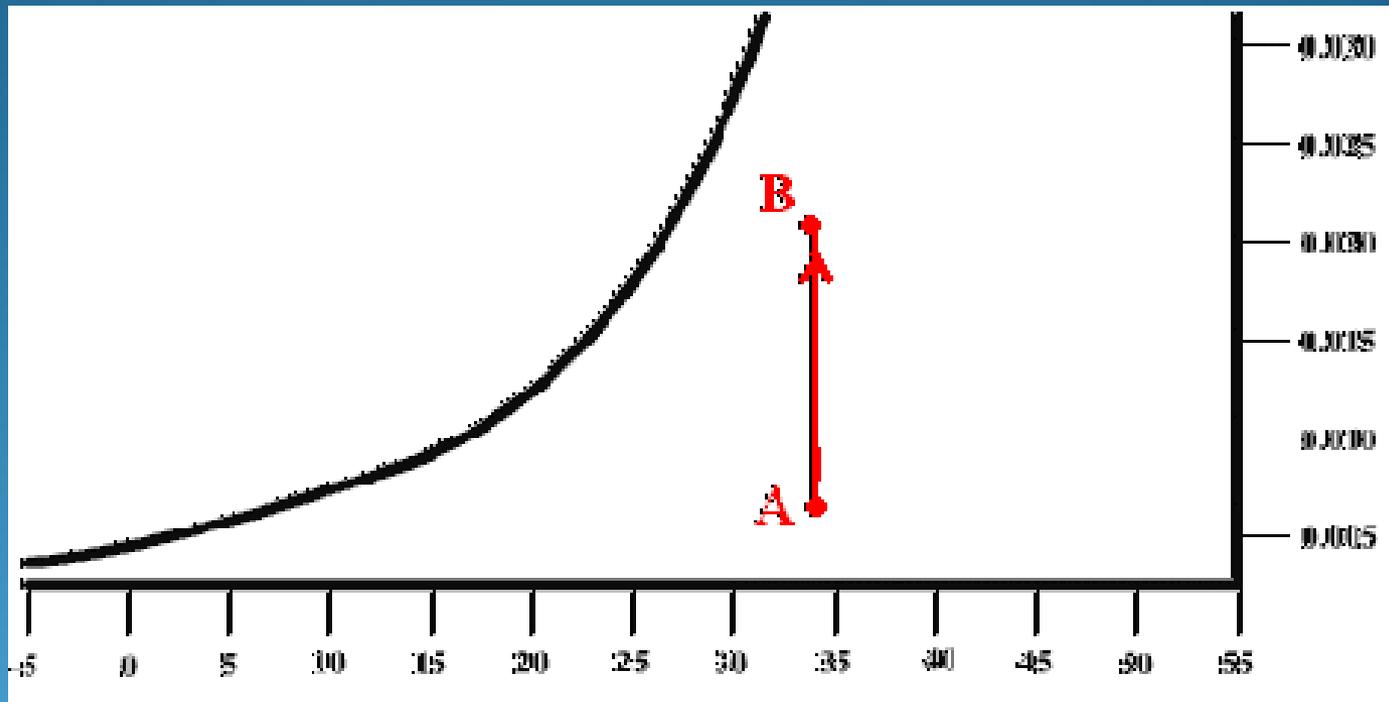
$$\eta = (T_B - T_A) / (T_{\text{sat}} - T_A)$$

Avec  $T_A$  la température de l'air avant humidificateur en ° C  
 $T_B$  la température de l'air après humidificateur en ° C  
 $T_{\text{sat}}$  la température de saturation en ° C

## 2. L'humidification :

### c. Evolution sur le diagramme de l'air humide

#### Humidificateur vapeur



PS : L'évolution se représente par une droite isotherme, c'est à dire à égale température sèche.

## 2. L'humidification :

### d. Calcul de puissance

La puissance de l'humidificateur pourra donc être calculé à l'aide du tracé sur le diagramme, ainsi qu'à l'aide de la formule suivante :

$$P = Q_m \times \Delta H$$

*Avec : P la puissance de l'humidificateur en kW*

*Q<sub>m</sub> le débit massique en kg/s*

*ΔH la différence d'enthalpie spécifique entre le point A et B  
= H<sub>B</sub> - H<sub>A</sub> en kJ/kg air sec*

**NB** : La puissance d'un laveur est nulle, car H<sub>A</sub> = H<sub>B</sub>.

## 2. L'humidification :

### e. Débit d'eau d'humidification

Le débit d'eau utilisé par les humidificateurs pourra donc être calculé à l'aide du tracé sur le diagramme, ainsi qu'à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{\text{eau}} = Q_m \times \Delta r$$

*Avec :  $Q_{\text{eau}}$  le débit d'eau de l'humidificateur en kg eau/s*

*$Q_m$  le débit massique en kg/s*

*$\Delta r$  la différence d'humidité spécifique entre le point A et B  
=  $r_B - r_A$  en kg d'humidité/kg air sec*

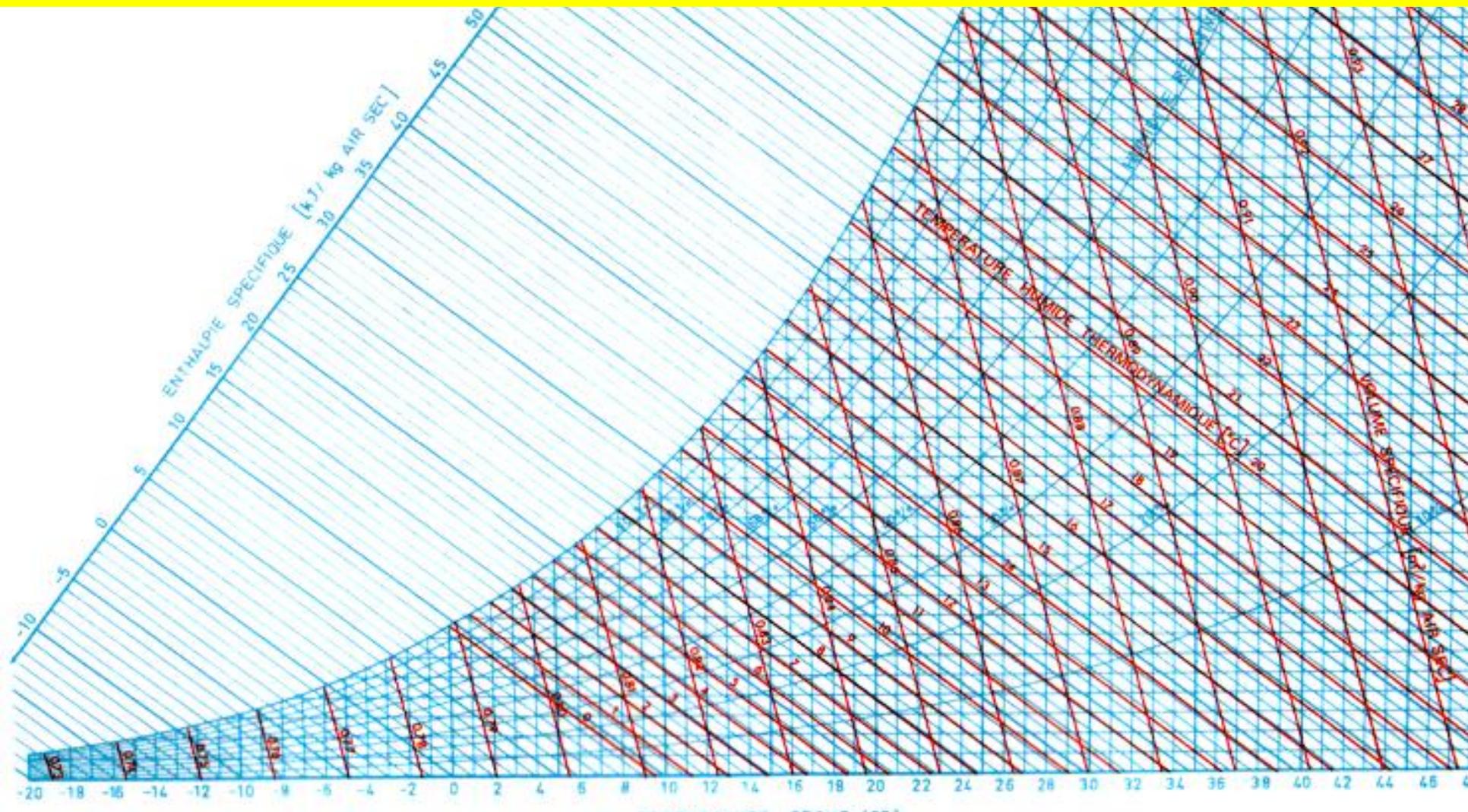
## Application 1 :

Tracer l'évolution sur le diagramme, calculer la puissance et le débit d'eau d'un humidificateur à vapeur à l'aide des informations suivantes :

Point A, avant humidificateur :  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 10% d'humidité relative

Point B, après humidificateur : 40% d'humidité relative

Débit volumique relevé au point A :  $4324 \text{ m}^3/\text{h}$



## Application 1 :

Tracer l'évolution sur le diagramme, calculer la puissance et le débit d'eau d'un humidificateur à vapeur à l'aide des informations suivantes :

Point A, avant humidificateur :  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 10% d'humidité relative

Point B, après humidificateur : 40% d'humidité relative

Débit volumique relevé au point A :  $4324 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_m = Q_v / V_s = (4324/3600) / 0,858$$

$$H_A = 30 \text{ kJ/kgAS}$$

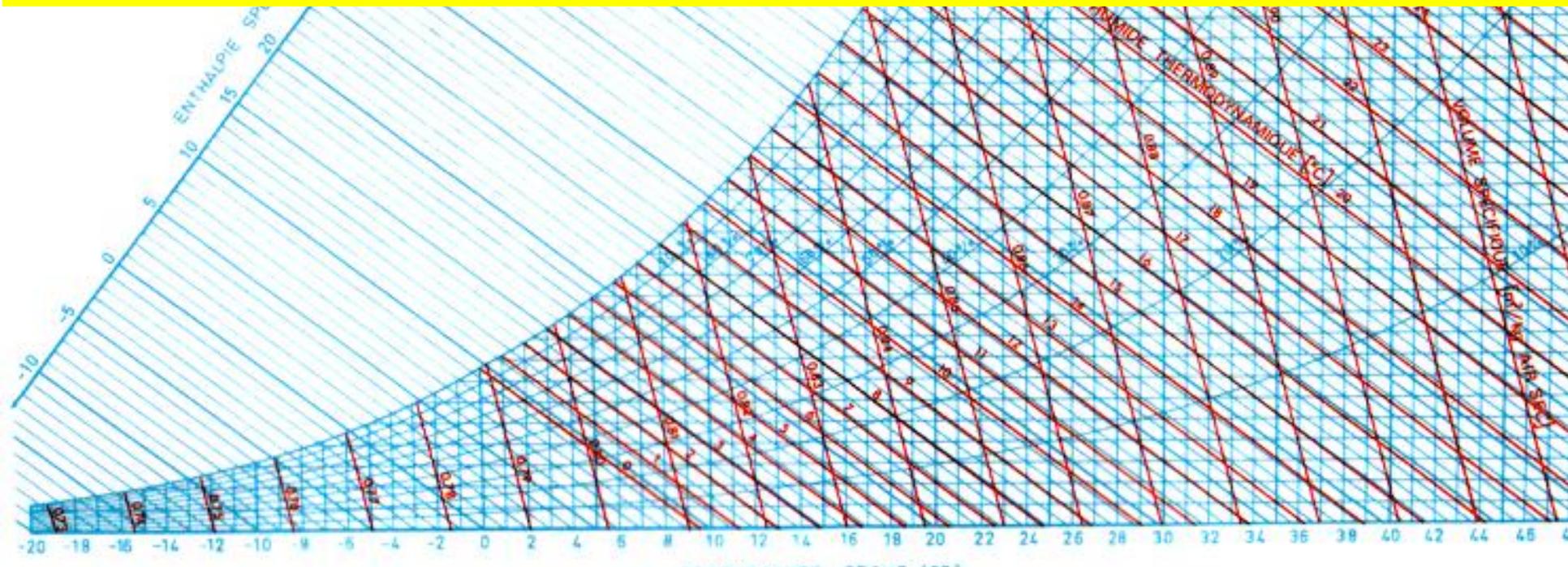
$$r_A = 0,002 \text{ kgeau/kgAS}$$

$$H_B = 45,5 \text{ kJ/kgAS}$$

$$r_B = 0,008 \text{ kgeau/kgAS}$$

$$P = Q_m \times (H_B - H_A) = 1,4 \times (45,5 - 30) = 21,7 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{eau}} = Q_m \times (r_B - r_A) = 1,4 \times (0,008 - 0,002) = 0,0084 \text{ kgeau/s}$$



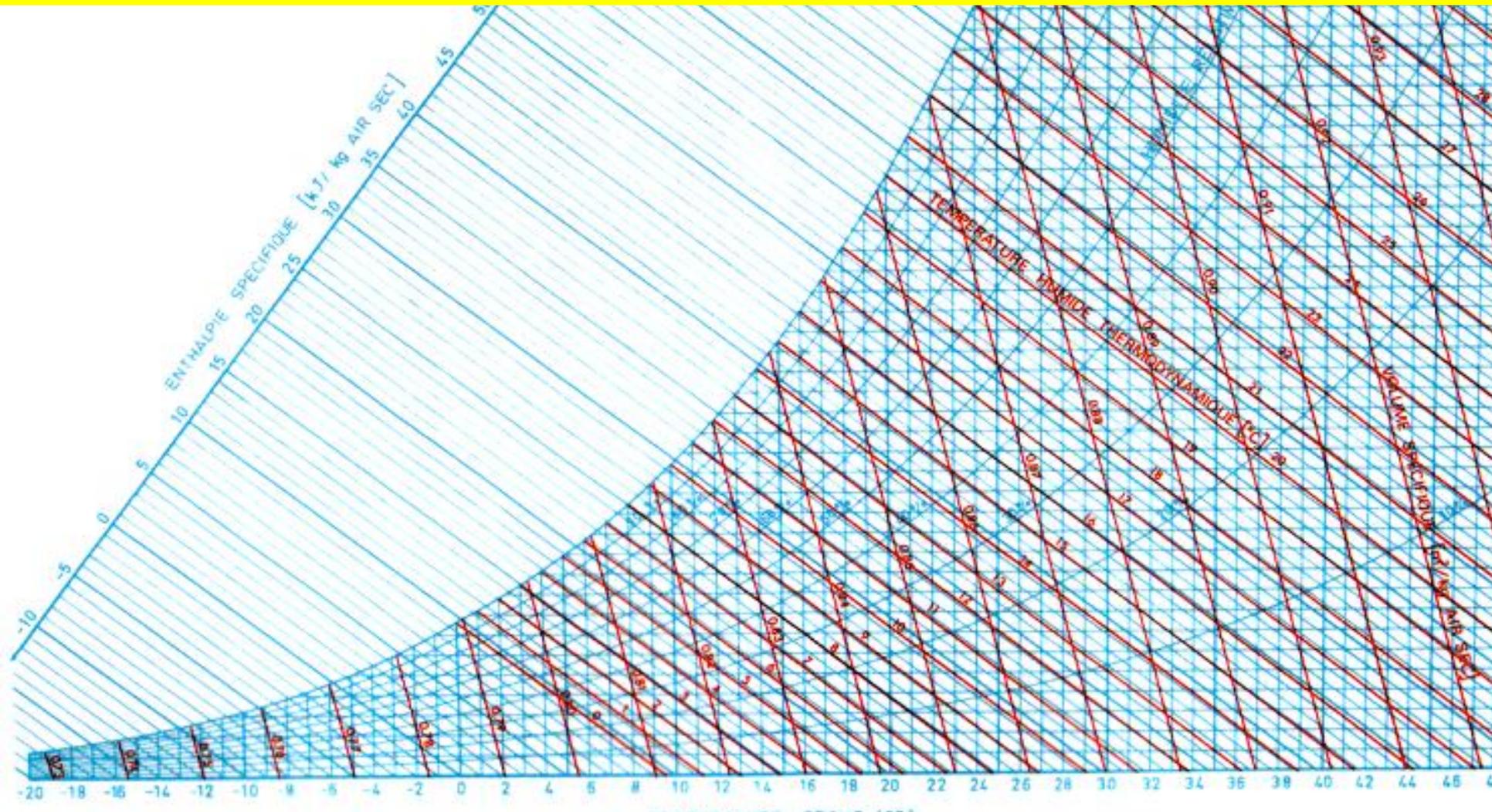
## Application 2 :

Tracer l'évolution sur le diagramme, calculer le rendement et le débit d'eau d'un humidificateur à laveur à l'aide des informations suivantes :

Point A, avant humidificateur :  $T_A = 21^\circ\text{C}$ , 10% d'humidité relative

Point B, après humidificateur : 80% d'humidité relative

Débit volumique relevé au point A :  $2132 \text{ m}^3/\text{h}$



## Application 2 :

Tracer l'évolution sur le diagramme, calculer le rendement et le débit d'eau d'un humidificateur laveur à l'aide des informations suivantes :

Point A, avant humidificateur :  $T_A = 21^\circ\text{C}$ , 10% d'humidité relative

Point B, après humidificateur : 80% d'humidité relative

Débit volumique relevé au point A :  $2132 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_m = Q_v / V_{sA} = (2132/3600) / 0,846 = 0,7 \text{ kg/s}$$

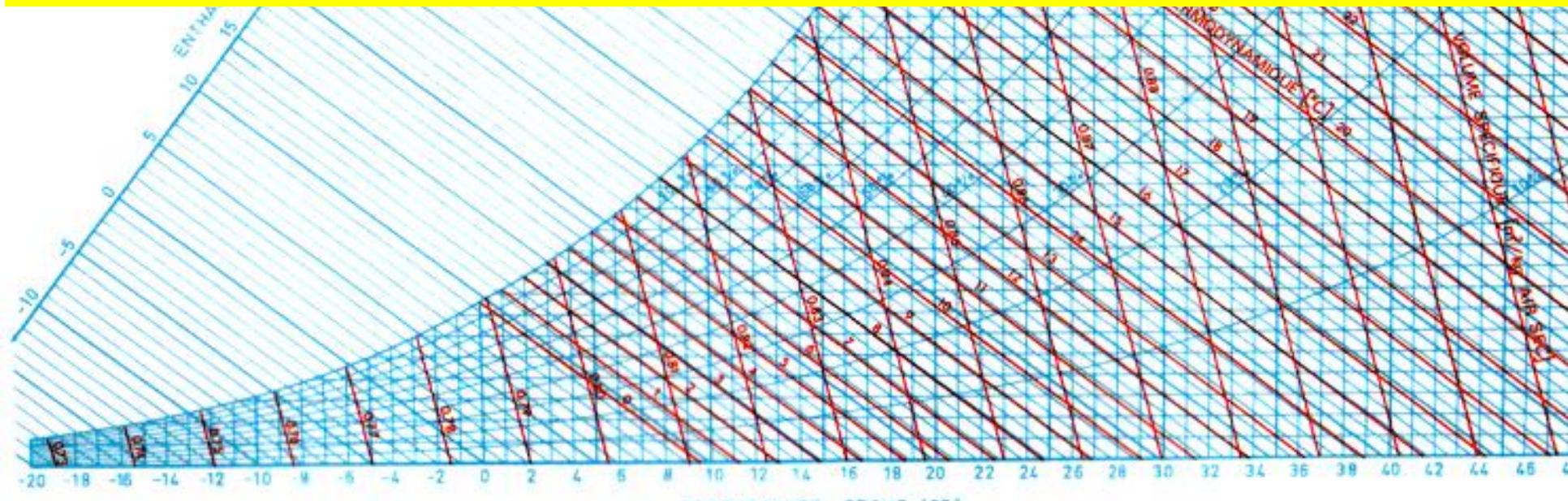
$$T_{\text{sat}} = 8^\circ\text{C}$$

$$r_A = 0,0015 \text{ kgeau/kgAS}$$

$$r_B = 0,006 \text{ kgeau/kgAS}$$

$$\text{Rendement} = (T_B - T_A) / (T_{\text{sat}} - T_A) = (9,7 - 21) / (8 - 21) = 0,87$$

$$Q_{\text{eau}} = Q_m \times (r_B - r_A) = 0,7 \times (0,006 - 0,0015) = 0,00315 \text{ kgeau/s}$$



### 3. La déshumidification:

#### a. Les différents systèmes de déshumidification:

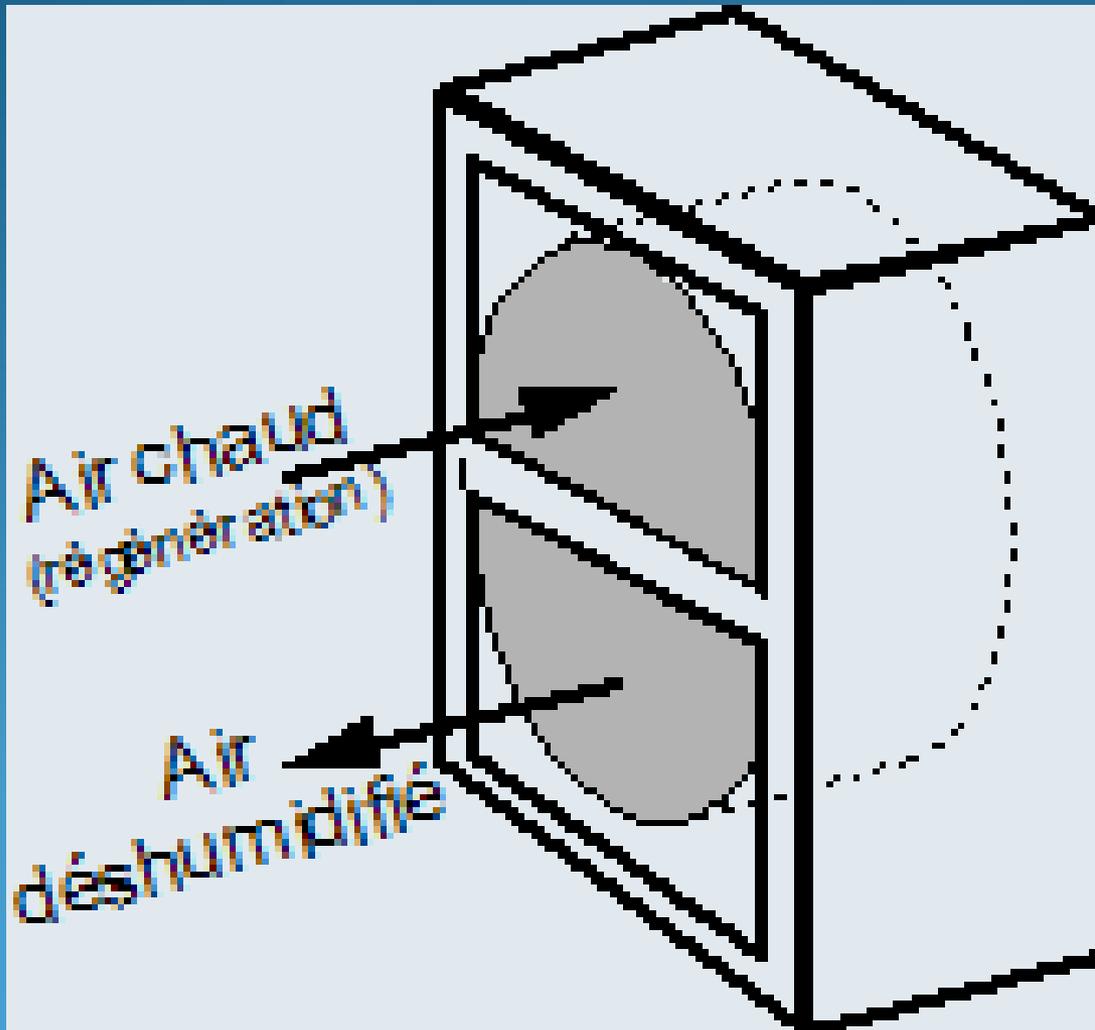
##### Déshumidification par batterie froide :

Le principe est de condenser la vapeur d'eau contenue dans l'air sur la surface de la batterie froide. La température de surface doit donc être inférieure à la température de rosée de l'air entrant. Ce procédé de déshumidification étant obtenu par refroidissement de l'air, il sera nécessaire de réchauffer le flux d'air, si l'on veut retrouver la température sèche avant déshumidificateur

### 3. La déshumidification:

#### a. Les différents systèmes de déshumidification:

##### Déshumidification par adsorption :



### 3. La déshumidification:

#### a. Les différents systèmes de déshumidification:

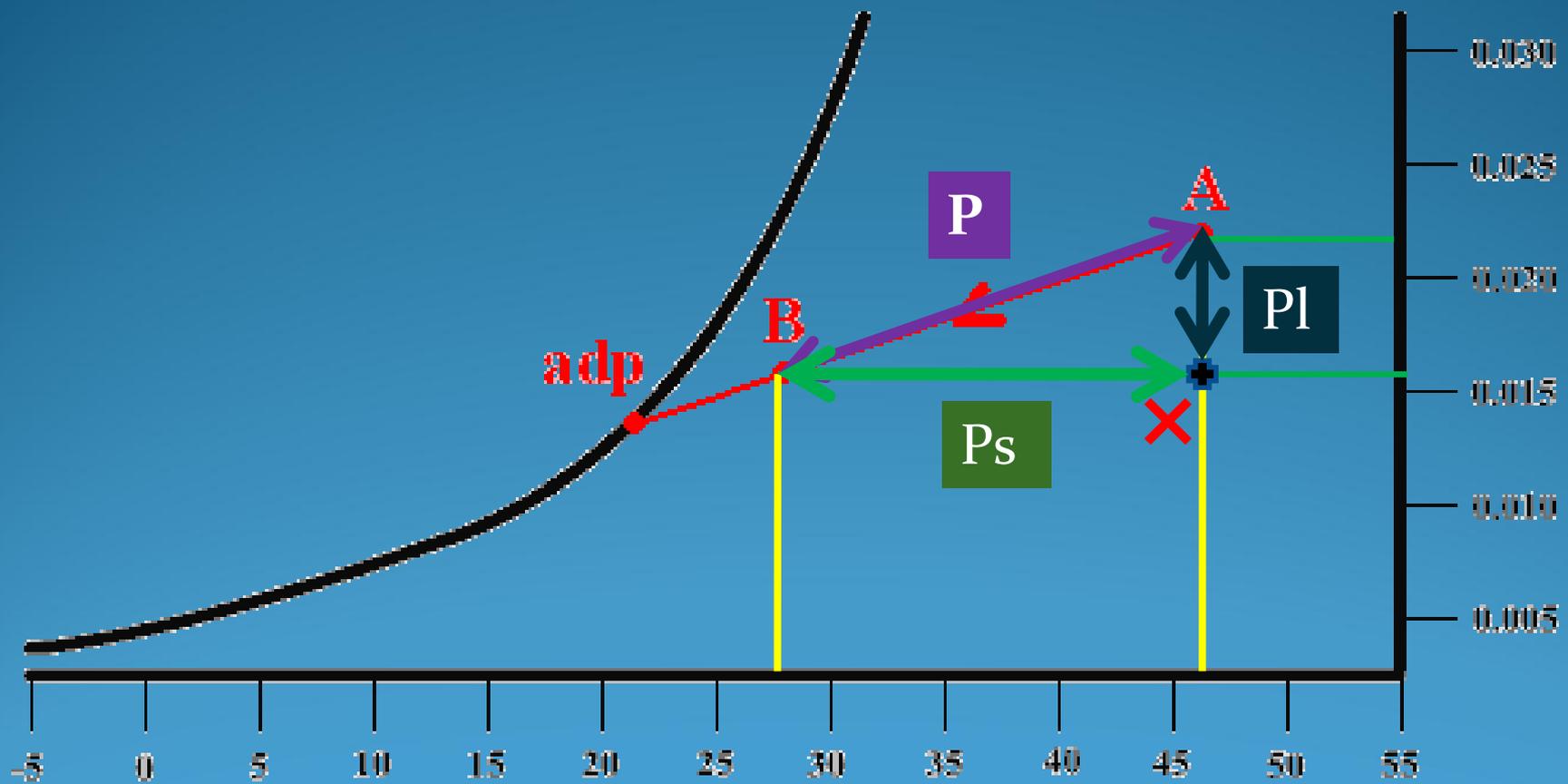
##### Déshumidification par adsorption :

L'eau contenue dans l'air est mis en contact avec des substances qui ont le pouvoir de sorption, c'est à dire adsorber la vapeur d'eau. L'adsorbant le plus utilisé est le gel de silice. Avant de pouvoir être réutilisé l'adsorbant doit être régénéré, pour cela il doit être séché avec de l'air très chaud. L'adsorbant est contenue dans une roue entraînée en rotation, constituée de deux parties, une partie est régénérée pendant que l'autre déshumidifie l'air. La régulation de la roue intervient sur la vitesse de rotation en fonction de l'humidité à obtenir.

### 3. La déshumidification:

#### b. Evolution sur le diagramme de l'air humide:

##### Déshumidification par batterie froide :



### 3. La déshumidification:

#### b. Evolution sur le diagramme de l'air humide:

La puissance globale de la batterie froide pouvant être déterminée par la formule suivante :

$$P = Q_m \times \Delta H$$

*Avec : P la puissance de la batterie en kW*

*Q<sub>m</sub> le débit massique en kg/s*

*ΔH la différence d'enthalpie spécifique entre le point A et B  
= HB - HA en kJ/kg air sec*

### 3. La déshumidification:

#### b. Evolution sur le diagramme de l'air humide:

La puissance sensible de la batterie froide, elle correspond à la chaleur sensible retirée à l'air pour le refroidir. Elle est déterminée par la formule suivante :

$$P_s = Q_m \times (H_B - H_X)$$

*Avec :  $P_s$  la puissance sensible de la batterie en kW*

*$Q_m$  le débit massique en kg/s*

*$H_B$  et  $H_X$  Enthalpie spécifique au point B et X en kJ/kg air sec*

### 3. La déshumidification:

#### b. Evolution sur le diagramme de l'air humide:

La puissance sensible de la batterie froide, elle correspond à la chaleur sensible retirée à l'air pour le refroidir. Elle est déterminée par la formule suivante :

$$P_s = Q_m \times (H_B - H_X)$$

*Avec :  $P_s$  la puissance sensible de la batterie en kW*

*$Q_m$  le débit massique en kg/s*

*$H_B$  et  $H_X$  Enthalpie spécifique au point B et X en kJ/kg air sec*

### 3. La déshumidification:

#### b. Evolution sur le diagramme de l'air humide:

La puissance latente de la batterie froide, elle correspond à la chaleur latente retirée à l'air qui se traduit par une déshumidification. Elle est déterminée par la formule suivante :

$$Pl = Qm \times (HX-HA)$$

*Avec : Pl la puissance latente de la batterie en kW*

*Qm le débit massique en kg/s*

*HA et HX Enthalpie spécifique au point A et X en kJ/kg air*

sec

### 3. La déshumidification:

#### b. Evolution sur le diagramme de l'air humide:

L'efficacité d'une telle batterie peut être déterminée par la formule suivante :

$$E = (TB - TA) / (Tadp - TA)$$

Avec TA la température de l'air avant la batterie en °C

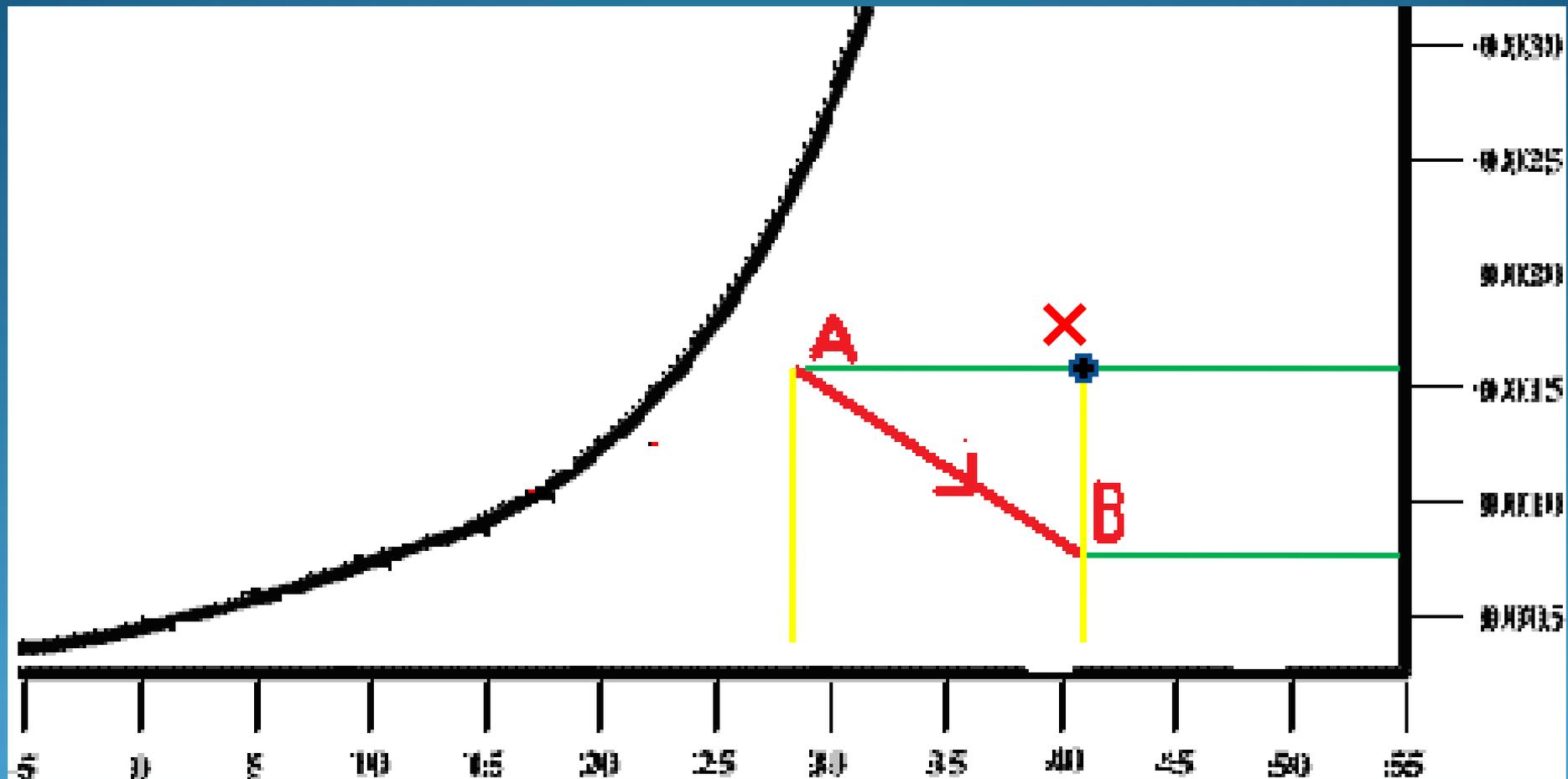
TB la température de l'air après la batterie en °C

Tadp la température équivalente de surface en °C

# 3. La déshumidification:

## b. Evolution sur le diagramme de l'air humide:

### Déshumidification par adsorption



### 3. La déshumidification:

#### b. Evolution sur le diagramme de l'air humide:

##### Déshumidification par adsorption

La déshumidification est dite adiabatique (pas d'échange de chaleur avec l'extérieur) . L'évolution se fait à égale température humide. Pour simplifier on estimera qu'elle est isenthalpe, sur la même ligne d'enthalpie.

### 3. La déshumidification:

#### b. Evolution sur le diagramme de l'air humide:

Afin de régénérer l'adsorbant, il est nécessaire de mettre en œuvre une certaine puissance de régénération qui peut être déterminée par la formule suivante :

$$P_{reg} = Q_m \times ((\Delta r \times L_v) + (H_X - H_A))$$

Avec  $P_{reg}$  puissance de régénération en kW

$Q_m$  le débit massique en kg/s

$\Delta r$  la différence d'humidité spécifique entre le point A et B

=  $r_A - r_B$  en kg d'humidité/kg air sec

$L_v$  chaleur latente de vaporisation en kJ/kg, on prendra

$L_v = 2500 \text{ kJ/kg}$

$H_A$  et  $H_X$  Enthalpie spécifique au point A et X en kJ/kg air sec.

### 3. La déshumidification:

#### e. Débit d'eau de déshumidification

Le débit d'eau déshumidifiée pourra donc être calculé à l'aide du tracé sur le diagramme, ainsi qu'à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{\text{eau}} = Q_m \times \Delta r$$

*Avec :  $Q_{\text{eau}}$  le débit d'eau de l'humidificateur en kg eau/s*

*$Q_m$  le débit massique en kg/s*

*$\Delta r$  la différence d'humidité spécifique entre le point A et B  
=  $r_B - r_A$  en kg d'humidité/kg air sec*

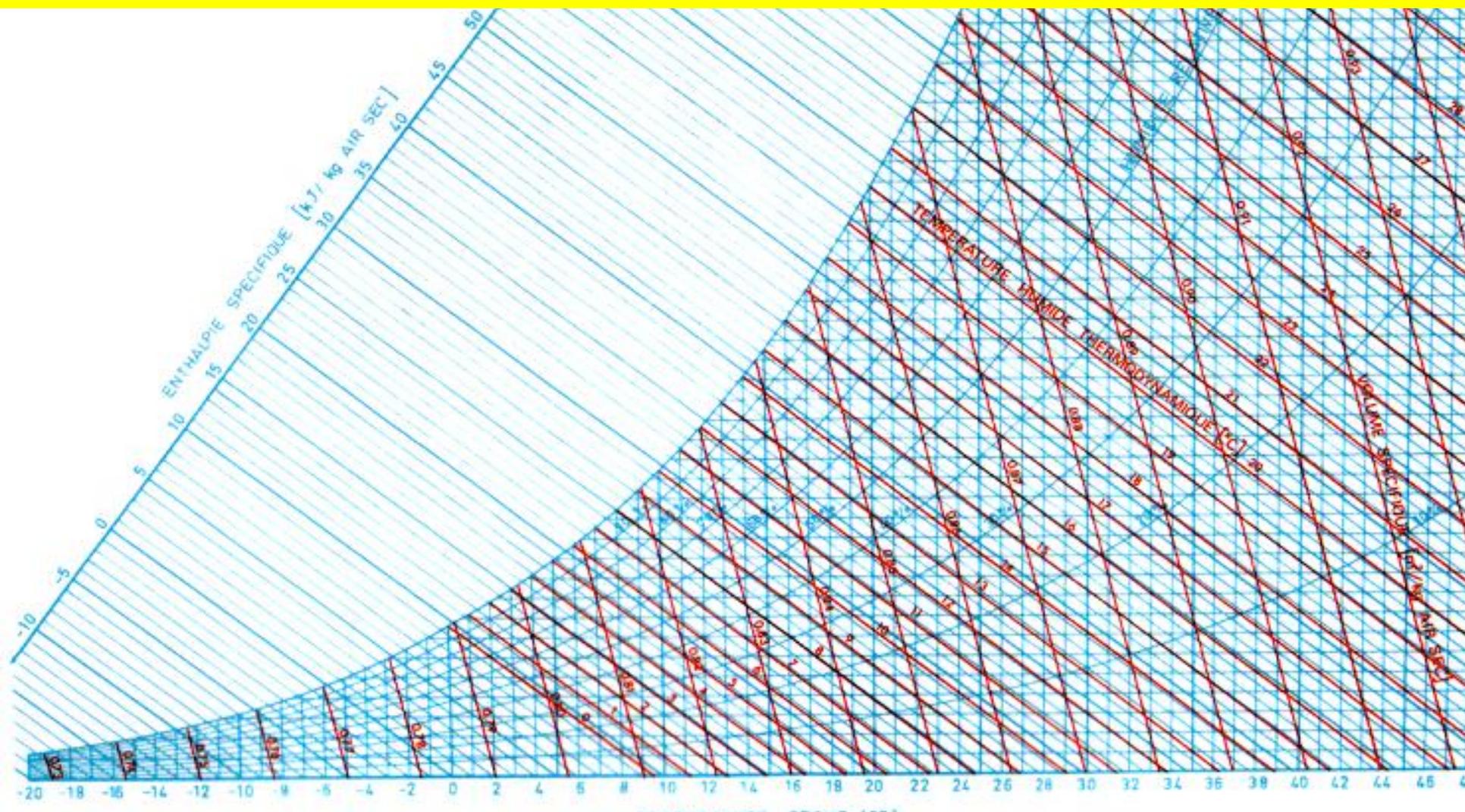
## Application 1 :

Tracer l'évolution sur le diagramme, calculer les puissances globale, sensible et latente, le débit et l'efficacité d'un déshumidificateur à batterie froide à l'aide des informations suivantes :

Point A, avant déshumidificateur :  $T_A = 26^\circ\text{C}$ ,  $0,009 \text{ kg humidité/kg air sec}$

Point B, après déshumidificateur :  $T_B = 14^\circ\text{C}$ ,  $70\%$  d'humidité relative

Débit volumique relevé au point B :  $3903 \text{ m}^3/\text{h}$



Tracer l'évolution sur le diagramme, calculer les puissances globale, sensible et latente, le débit d'eau et l'efficacité d'un déshumidificateur à batterie froide à l'aide des informations suivantes

Point A, avant déshumidificateur :  $T_A = 26^\circ\text{C}$ ,  $0,009 \text{ kg humidité/kg air sec}$

Point B, après déshumidificateur :  $T_B = 14^\circ\text{C}$ ,  $70\%$  d'humidité relative

Débit volumique relevé au point B :  $3903 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_m = Q_v / V_{sB} = (3903/3600) / 0,834 = 1,3 \text{ kg/s}$$

$$H_A = 49 \text{ kJ/kgas}$$

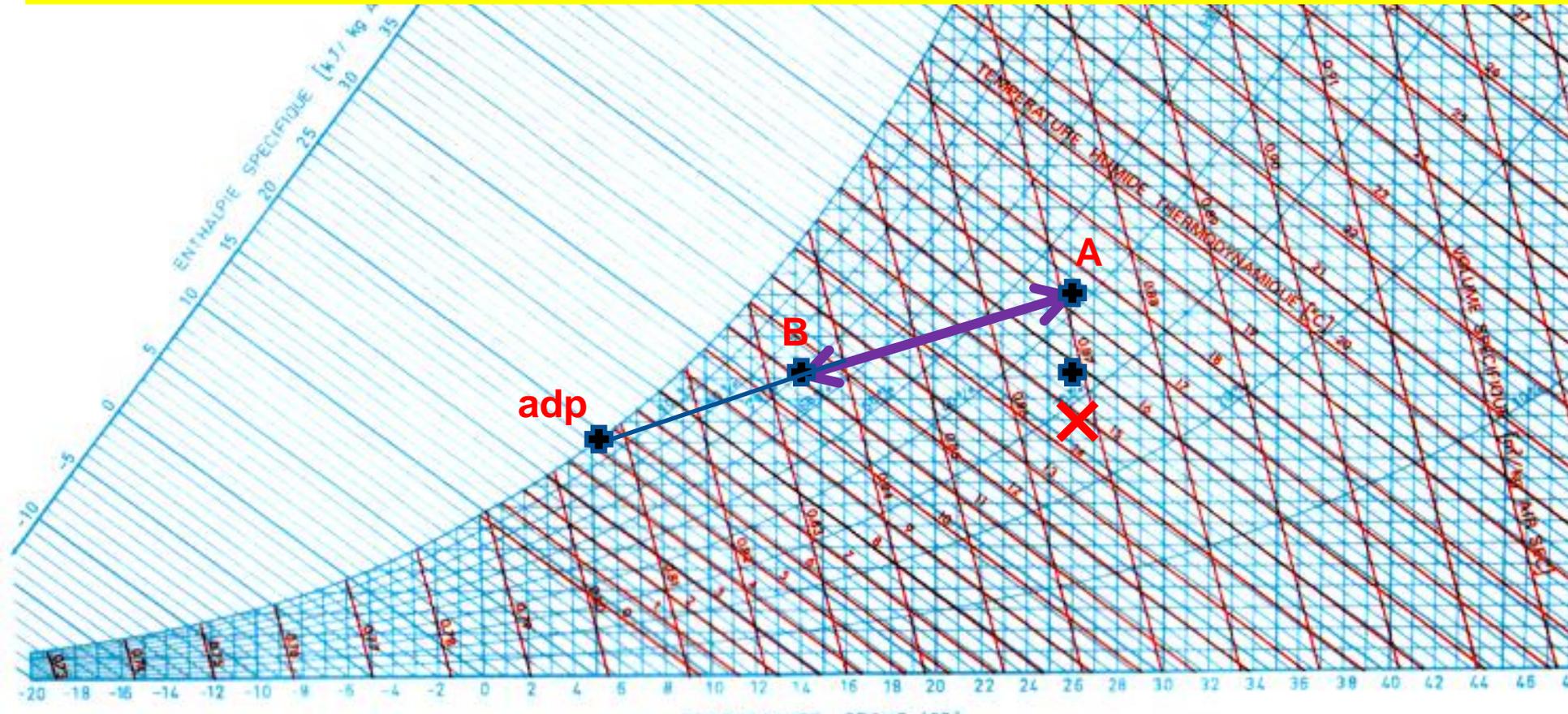
$$H_B = 32 \text{ kJ/kgas}$$

$$H_X = 44 \text{ kJ/kgas}$$

$$r_A = 0,009 \text{ kg humidité/kgas}$$

$$r_B = 0,007 \text{ kg humidité/kgas}$$

$$T_{adp} = 5^\circ\text{C}$$



$$Q_m = Q_v / V_{sB} = (3903/3600) / 0,834 = 1,3 \text{ kg/s}$$

$$H_A = 49 \text{ kJ/kgas}$$

$$H_B = 32 \text{ kJ/kgas}$$

$$H_X = 44 \text{ kJ/kgas}$$

$$r_A = 0,009 \text{ kg humidité/kgas}$$

$$r_B = 0,007 \text{ kg humidité/kgas}$$

$$T_{adp} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

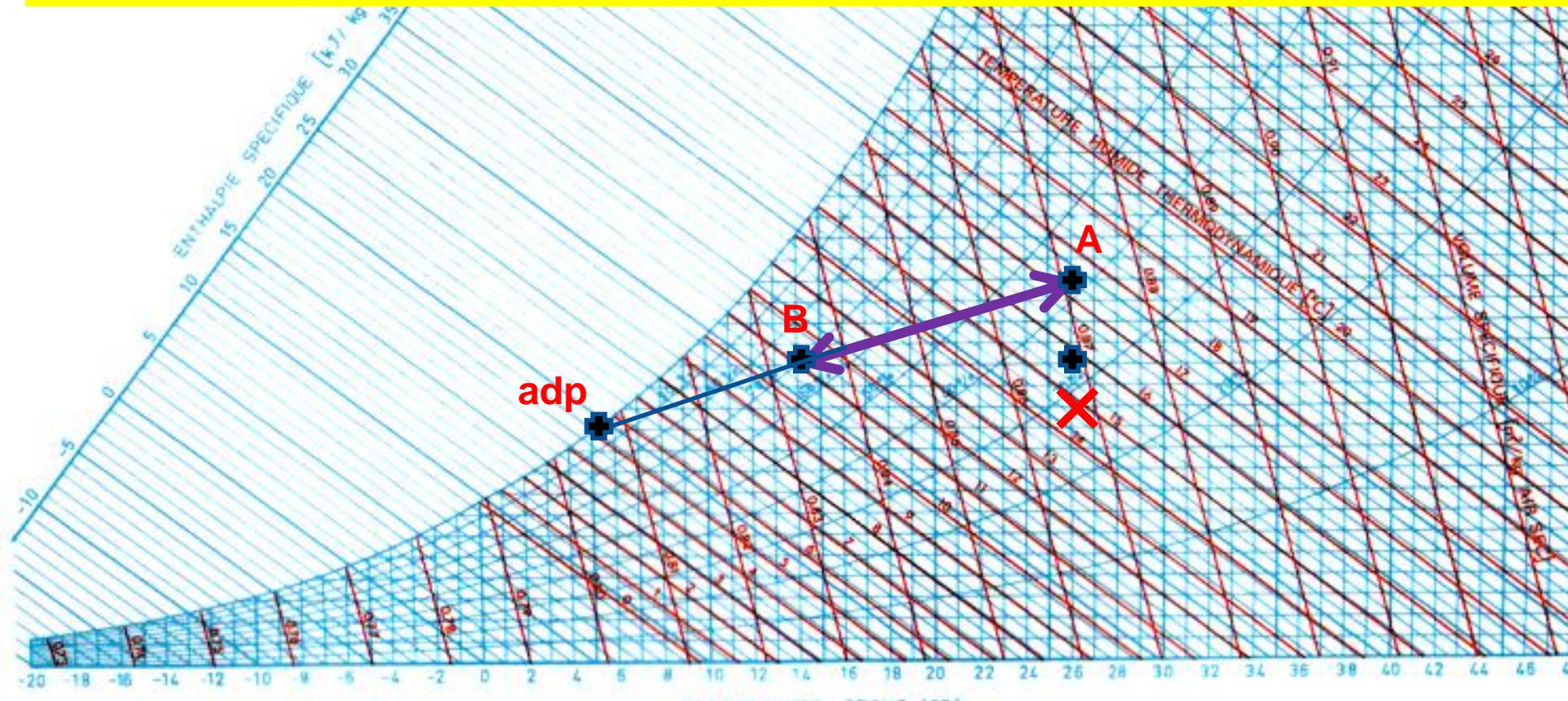
$$P = Q_m \times (H_B - H_A) = 1,3 \times (32 - 49) = -22,1 \text{ kW}$$

$$P_s = Q_m \times (H_B - H_X) = 1,3 \times (32 - 44) = -15,6 \text{ kW}$$

$$P_l = Q_m \times (H_X - H_A) = 1,3 \times (44 - 49) = -6,5 \text{ kW}$$

$$Q_{eau} = Q_m \times (r_B - r_A) = 1,3 \times (0,007 - 0,009) = 0,0026 \text{ kg eau / s}$$

$$E = (T_B - T_A) / (T_{adp} - T_A) = (14 - 26) / (5 - 26) = 0,57$$



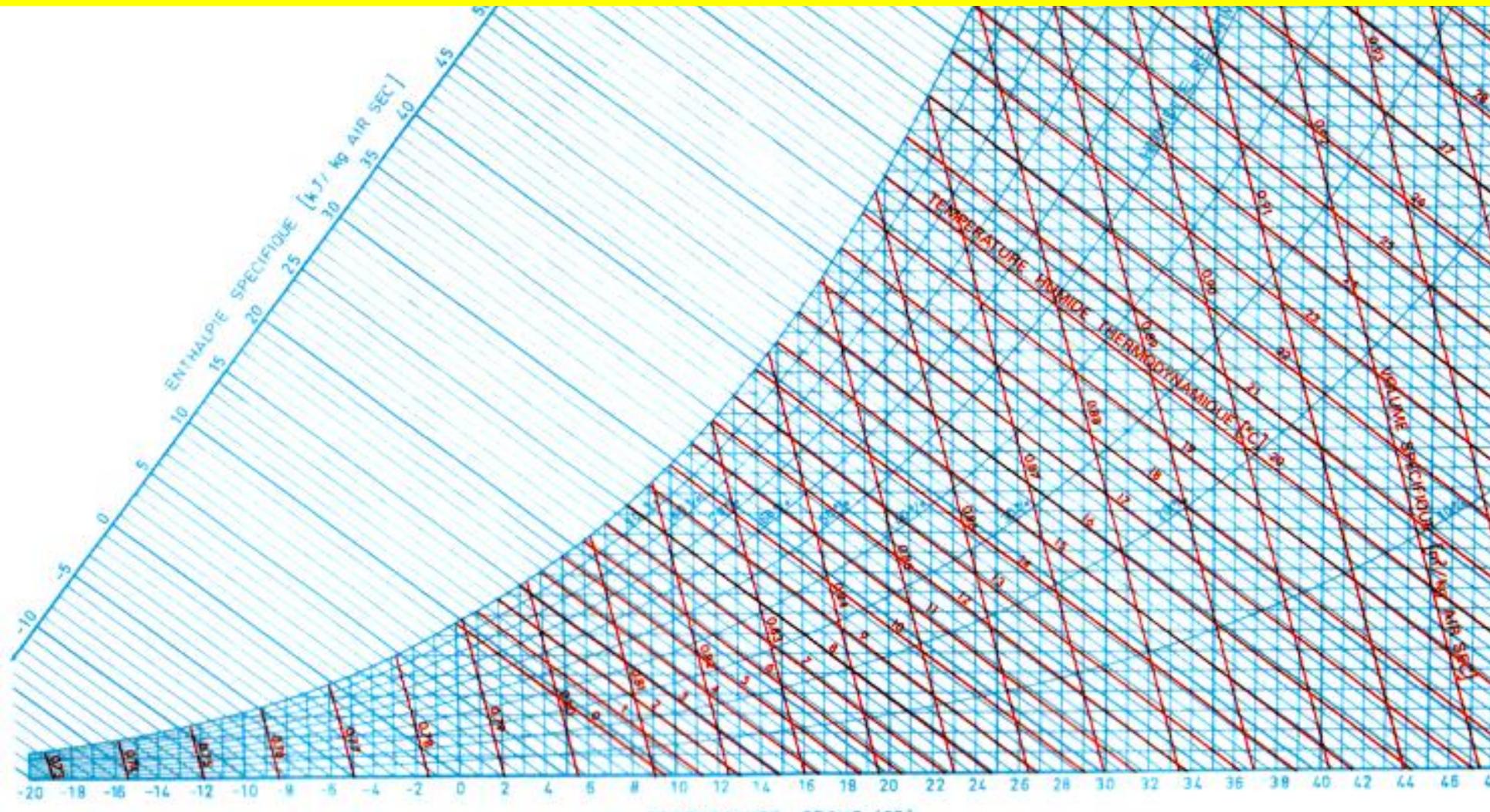
## Application 2 :

Tracer l'évolution sur le diagramme, calculer la puissance de régénération et le débit d'eau d'un déshumidificateur à adsorption à l'aide des informations suivantes :

Point A, avant déshumidificateur :  $T_A = 15^\circ\text{C}$ , 70% d'humidité relative

Point B, après déshumidificateur :  $T_B = 25^\circ\text{C}$

Débit volumique relevé au point B :  $5889 \text{ m}^3/\text{h}$



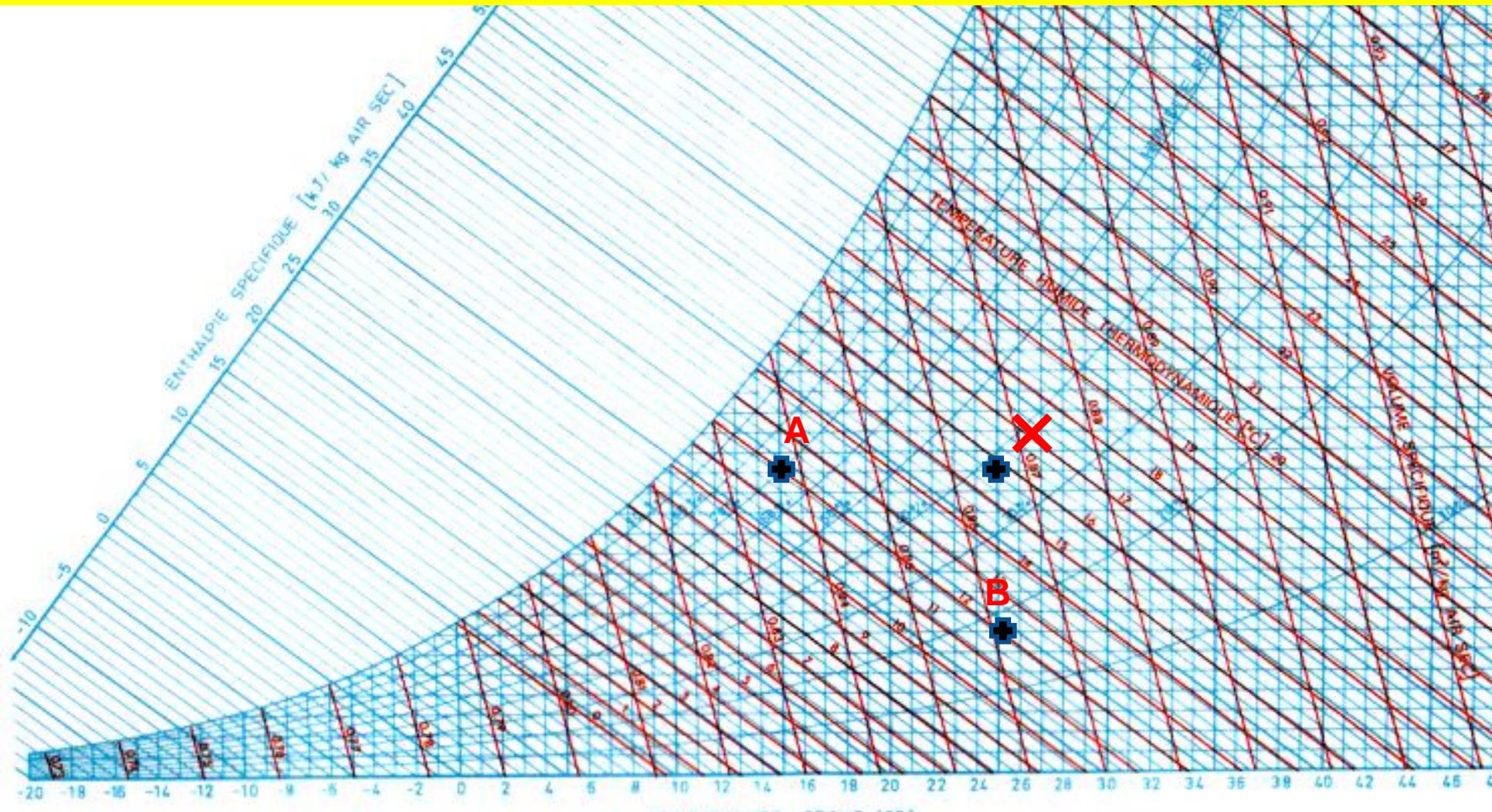
## Application 2 :

Tracer l'évolution sur le diagramme, calculer la puissance de régénération et le débit d'eau d'un déshumidificateur à adsorption à l'aide des informations suivantes :

Point A, avant déshumidificateur :  $T_A = 15^\circ\text{C}$ , 70% d'humidité relative

Point B, après déshumidificateur :  $T_B = 25^\circ\text{C}$

Débit volumique relevé au point B :  $5889 \text{ m}^3/\text{h}$



## Application 2 :

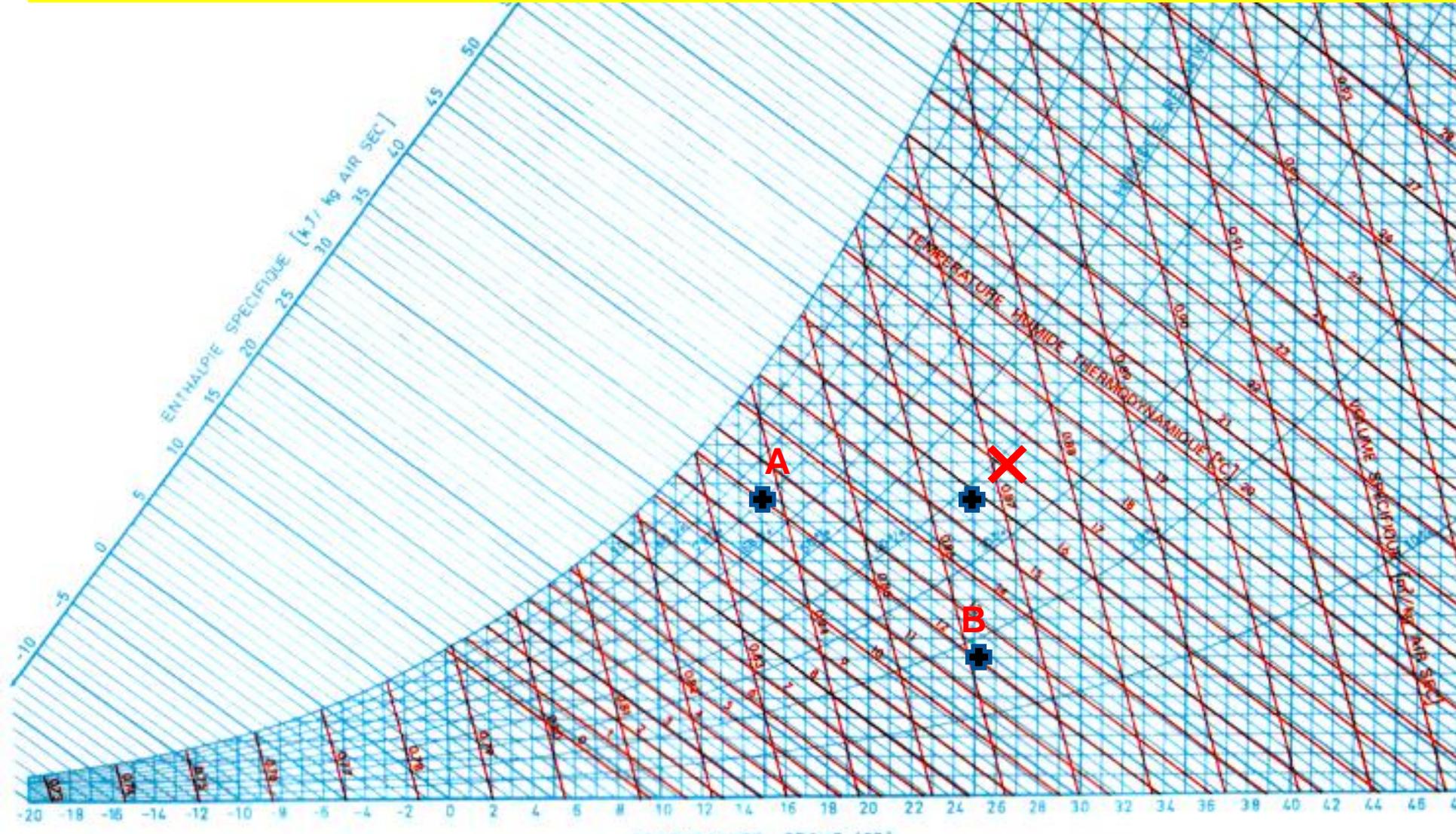
$$Q_m = Q_v / V_{sB} = (5889/3600) / 0,861 = 1,9 \text{ kg/s}$$

$$H_A = 34 \text{ kJ/kgas}$$

$$H_X = 44 \text{ kJ/kgas}$$

$$r_A = 0,0075 \text{ kg humidité/kgas}$$

$$r_B = 0,0035 \text{ kg humidité/kgas}$$



## Application 2 :

$$Q_m = Q_v / V_{sB} = (5889/3600) / 0,861 = 1,9 \text{ kg/s}$$

$$H_A = 34 \text{ kJ/kgas}$$

$$H_X = 44 \text{ kJ/kgas}$$

$$r_A = 0,0075 \text{ kg humidité/kgas}$$

$$r_B = 0,0035 \text{ kg humidité/kgas}$$

$$P_{\text{reg}} = Q_m \times (\Delta r \times L_v) + (H_X - H_A)$$

$$1,9 \times ((0,0075 - 0,0035) \times 2500) + (44 - 34) = 38 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{eau}} = Q_m \times (r_B - r_A) = 1,9 \times (0,0035 - 0,0075) = 0,0076 \text{ kg eau}$$

