

***TRAITEMENT D'AIR***

## *A- Les composants et les propriétés de l'air:*

### *1. La composition et les propriétés d'air sec:*

*L'air sec est un mélange de gaz la composition volumétrique habituelle est :*

*Oxygène - 20,99%*

*Azote - 78,03%*

*Argon - 0,94%*

*Gaz carbonique - 0,03%*

*Ces gaz peuvent être considérés comme parfaits on peut donc appliquer à l'air sec l'équation des gaz parfaits :*

$$P*V = m*R_p*T$$

*P: pression en Pascal*

*V: volume en  $m^3 / kg$*

*T: température absolue en  $^{\circ}K$*

*$R_p$ : constante particulière d'air en  $kJ / kg^{\circ}k$  tel que*

$$\frac{R}{P} = \frac{8314}{M}$$

*avec M: masse molaire d'air sec =  $29g/mol$*

*$R_p = 286,68 \text{ kJ} / kg^{\circ}k$*

*Alors pour l'air sec :*

$$P * V = 286,68 * m * T$$

## *2-La composition et les propriétés d'air humide:*

*L'air atmosphérique n'est jamais parfaitement sec et contient toujours, en suspension, une certaine quantité de vapeur d'eau.*

*(on admet que cette vapeur se comporte comme un gaz parfait).*

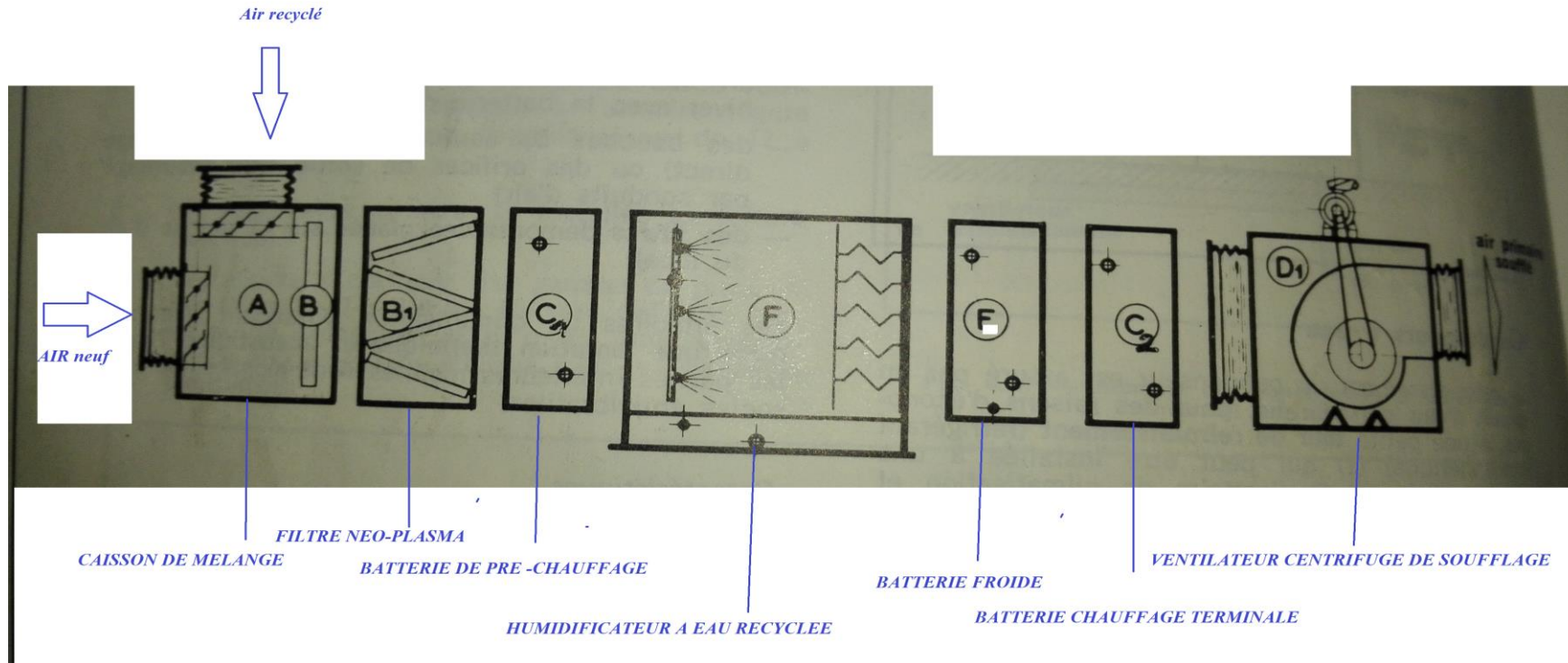
*Pour cette vapeur d'eau :*

*M: masse molaire = 18 g/mol*

*$R_p = 461,89 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ\text{k}$*

*Alors pour vapeur d'eau :  $P*V = 461,89 *m*T$*

# COMPOSANTS D'UNE CTA



## ***B-LES DIFFERENTES OPERATIONS DE TRAITEMENT DE L'AIR:***

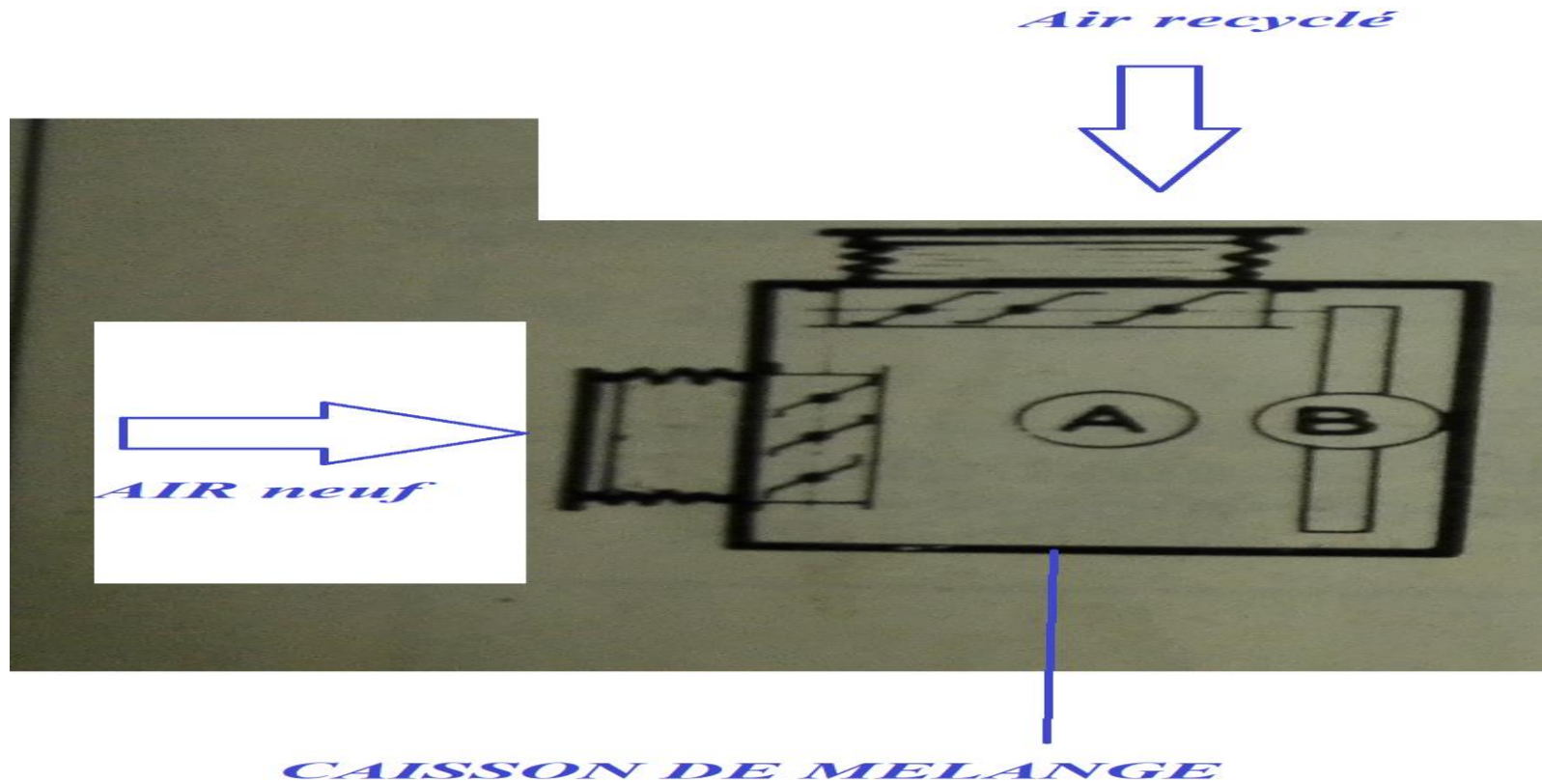
*Il existe 5 transformations thermodynamique ,à savoir:*

- *Mélange d'air*
- *chauffage,*
- *refroidissement*
- *humidification*
- *déshumidification*

***REMARQUE importante***

*Le débit massique d'air sec est la seule grandeur qui reste constante quel que soit le traitement étudié*

# CAISSON DE MELANGE



LE CAISSON DE MELANGE A POUR ROLE D'ECONOMISER L'ENERGIE:

- CALORIFIQUE EN HIVER
- FRIGORIFIQUE EN ETE



*Ces 4 transformations thermodynamique sont évolués sur un diagramme appelé Diagramme de l'air humide ou Diagramme de Carrier ou Diagramme psychrométrique:*

*On extrait de ce diagramme 8 paramètres:*

*$T_s$ : température sèche en °C*

*$T_h$ : température humide en °C*

*$T_r$ : température de rosée en °C*

*$P_{ve}$ : pression de vapeur d'eau en bar*

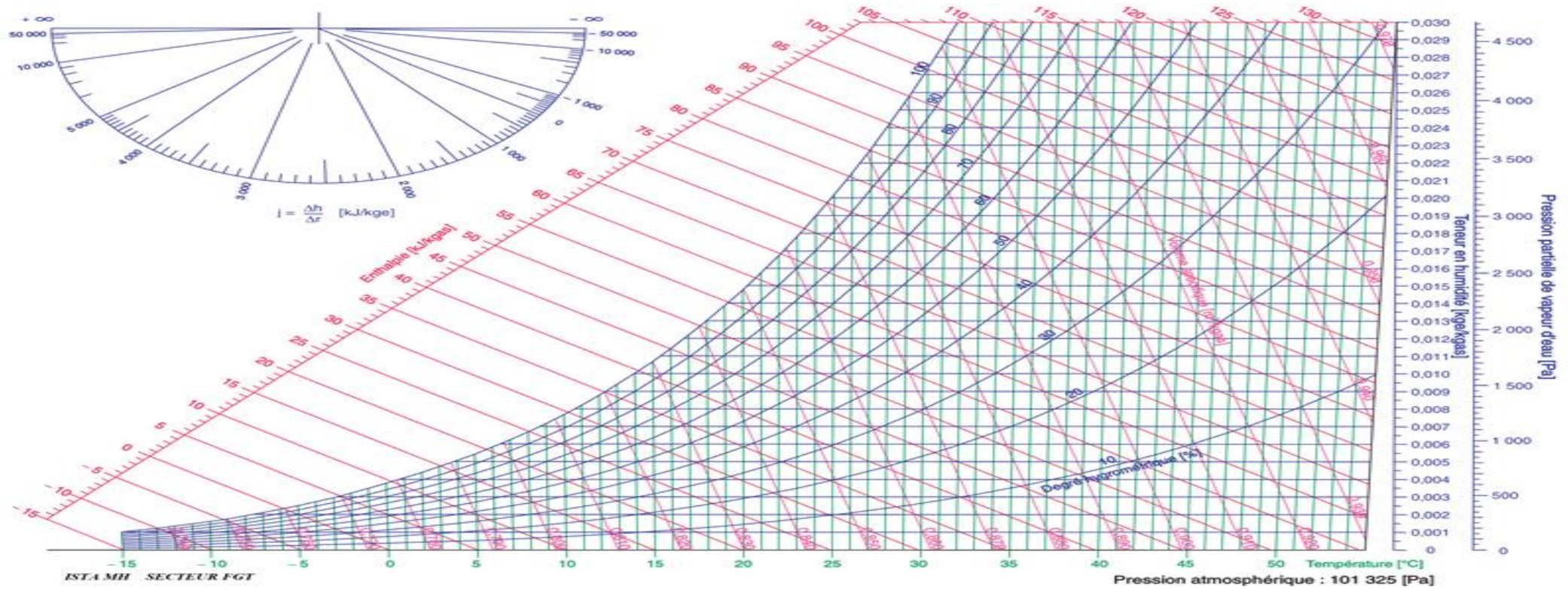
*$h$ : enthalpie (chaleur de l'air) en kJ/kg*

*$x$ : humidité absolue en kg vapeur d'eau/kg air sec*

*$\phi$ : humidité relative en %*

*$v$ : volume massique en m<sup>3</sup>/kg*

Diagramme de l'air humide



*A l'aide du "diagramme psychrométrique" pour l'air humide, la plupart des calculs sont rapidement et simplement effectués:*

- *Puissances des batteries*
- *Capacité des humidificateurs*
- *Rendements ....*

*1-lecture de la température:*

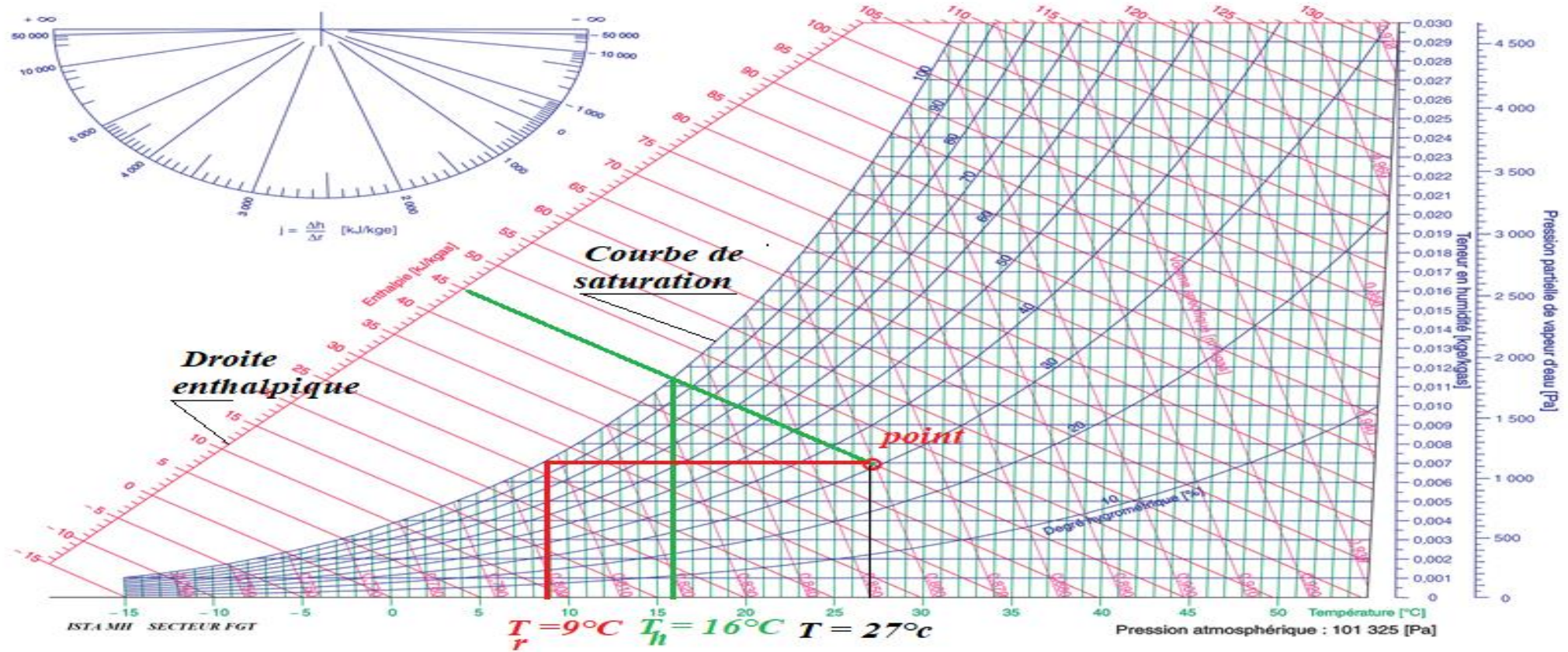
*$T_s$ : projection verticale sur l'axe des abscisses*

*$T_h$ : projection perpendiculaire sur la droite enthalpique et intersection avec la courbe de saturation*

*$T_r$ : projection horizontale sur la courbe de saturation*

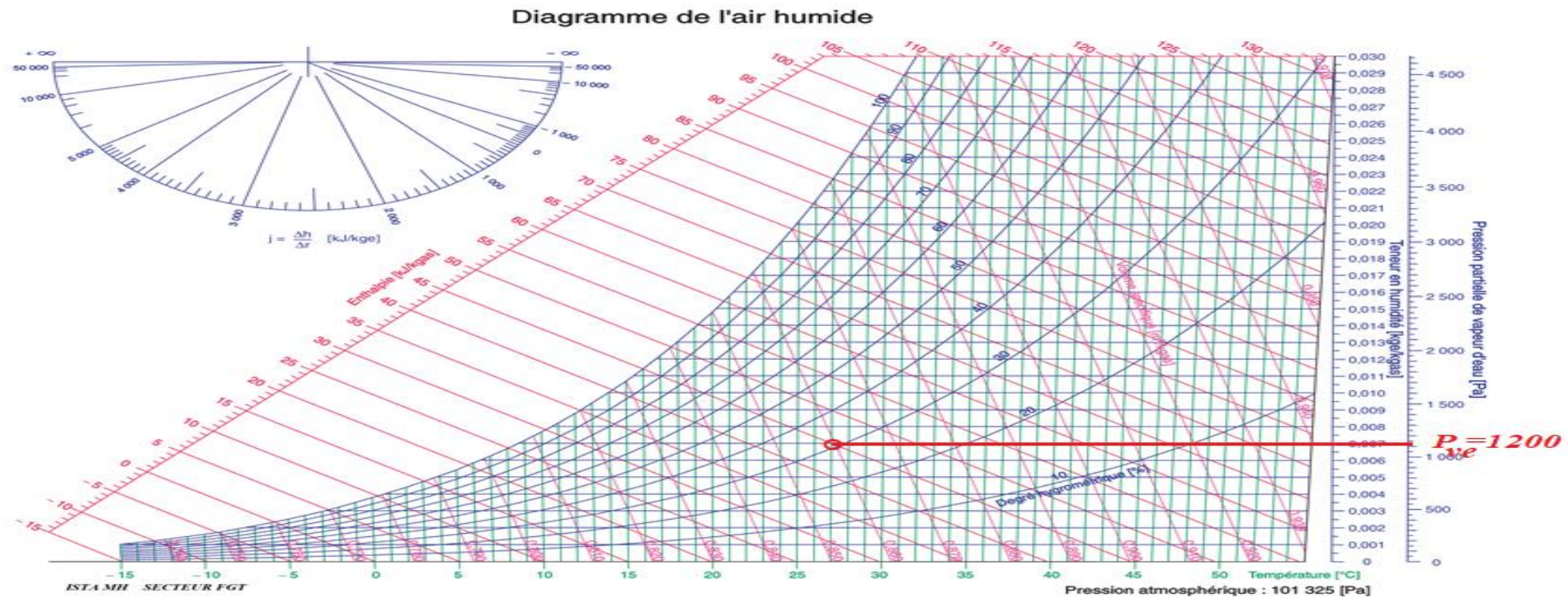


Diagramme de l'air humide



## 2-lecture de la pression:

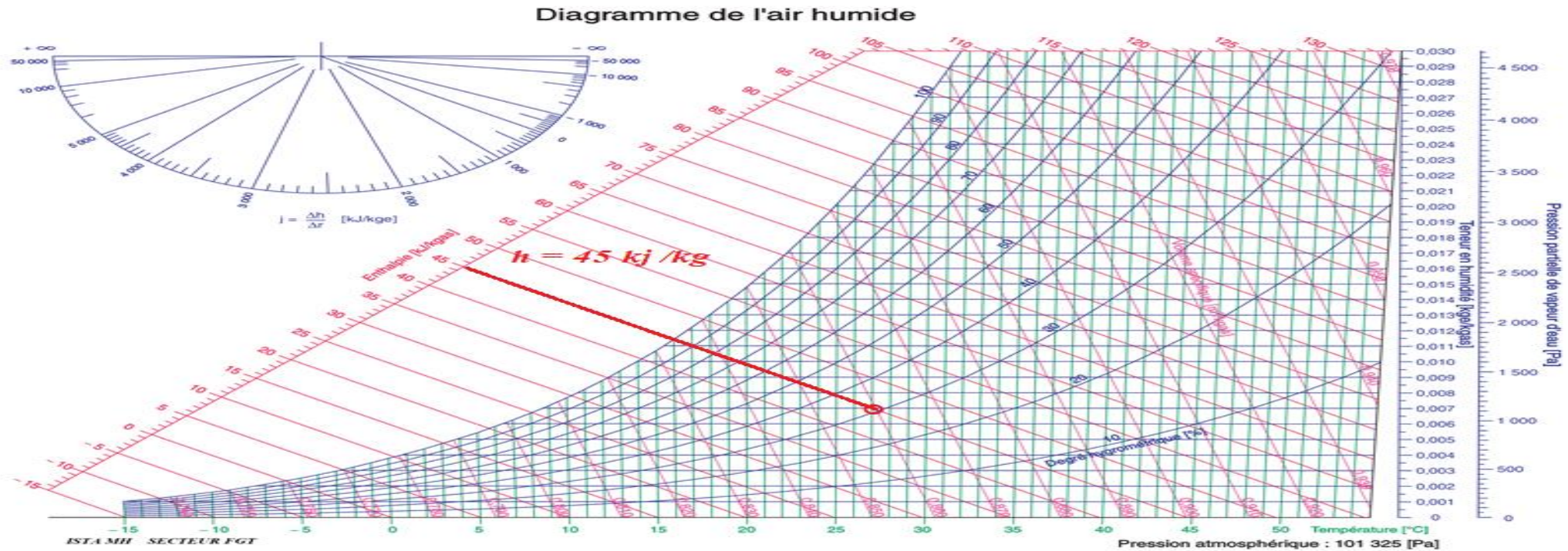
$P_{ve}$  : projection horizontale sur l'axe des ordonnées





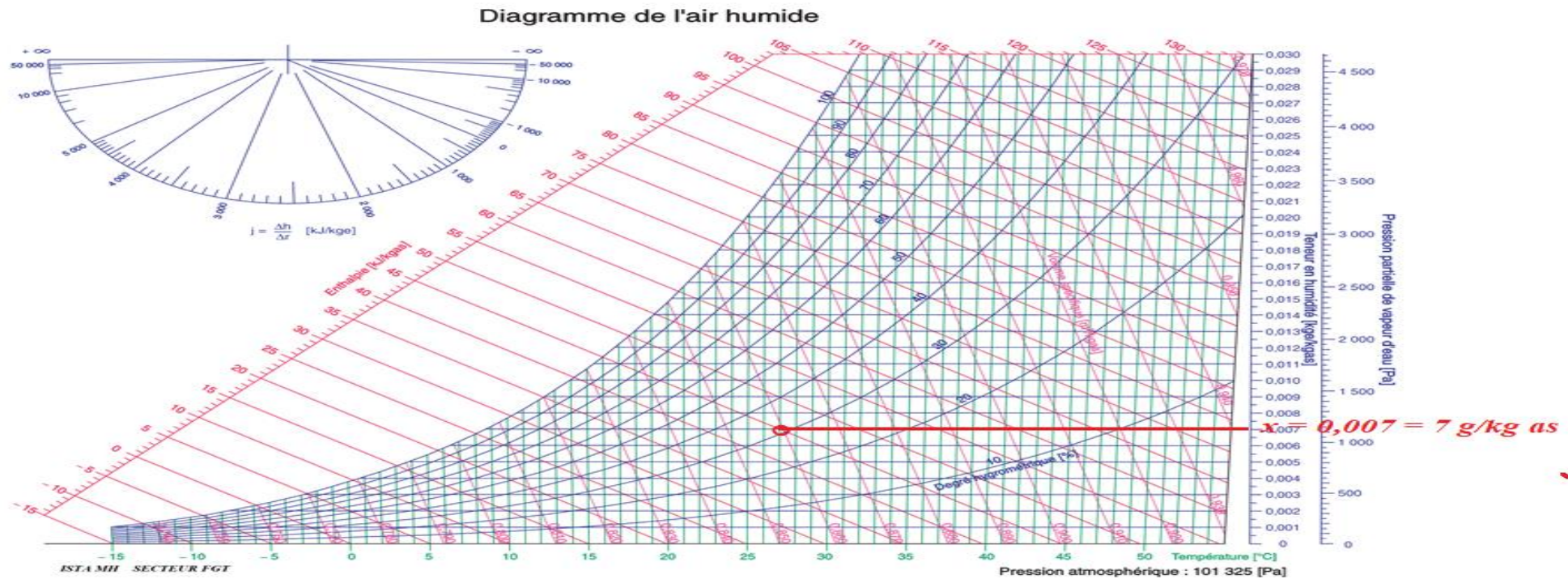
*3-lecture de l'enthalpie (chaleur de l'air):*

*$h$ : projection perpendiculaire sur la droite enthalpique*



#### 4-lecture de l'humidité absolue :

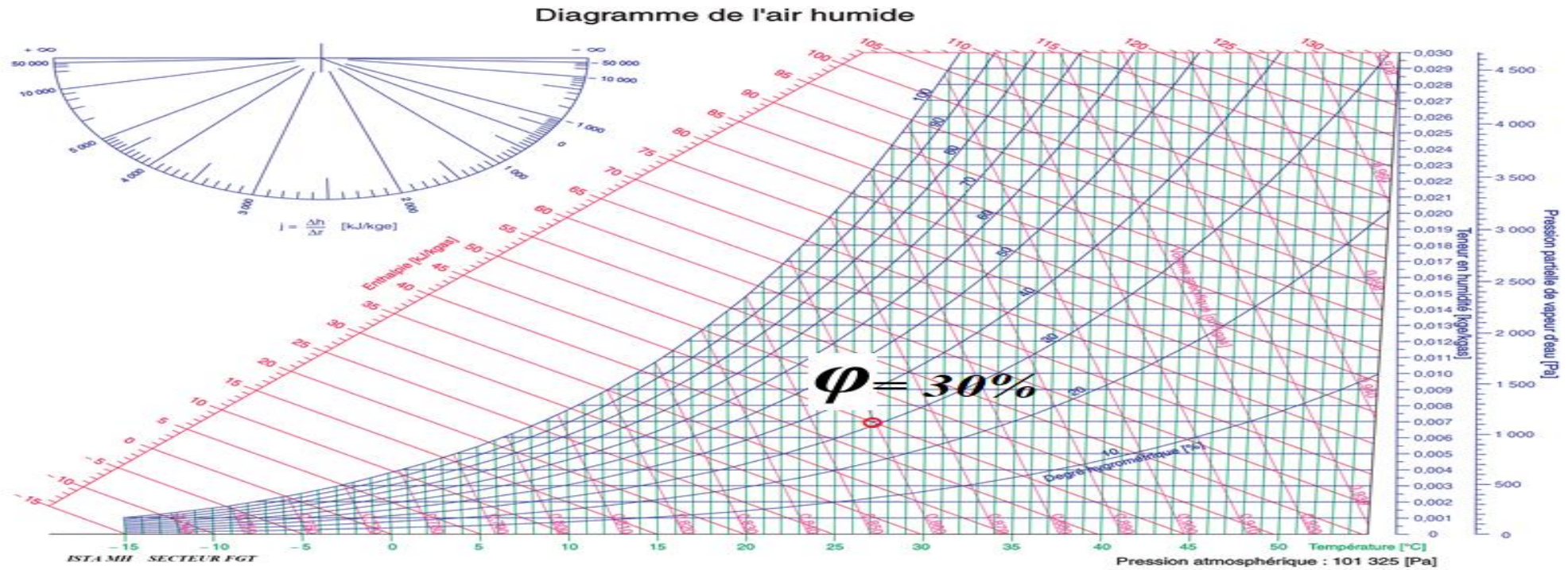
*x*: projection horizontale sur l'axe des ordonnées





*5-lecture de l'humidité relative :*

*Positionnement sur l'une des hyperboles*

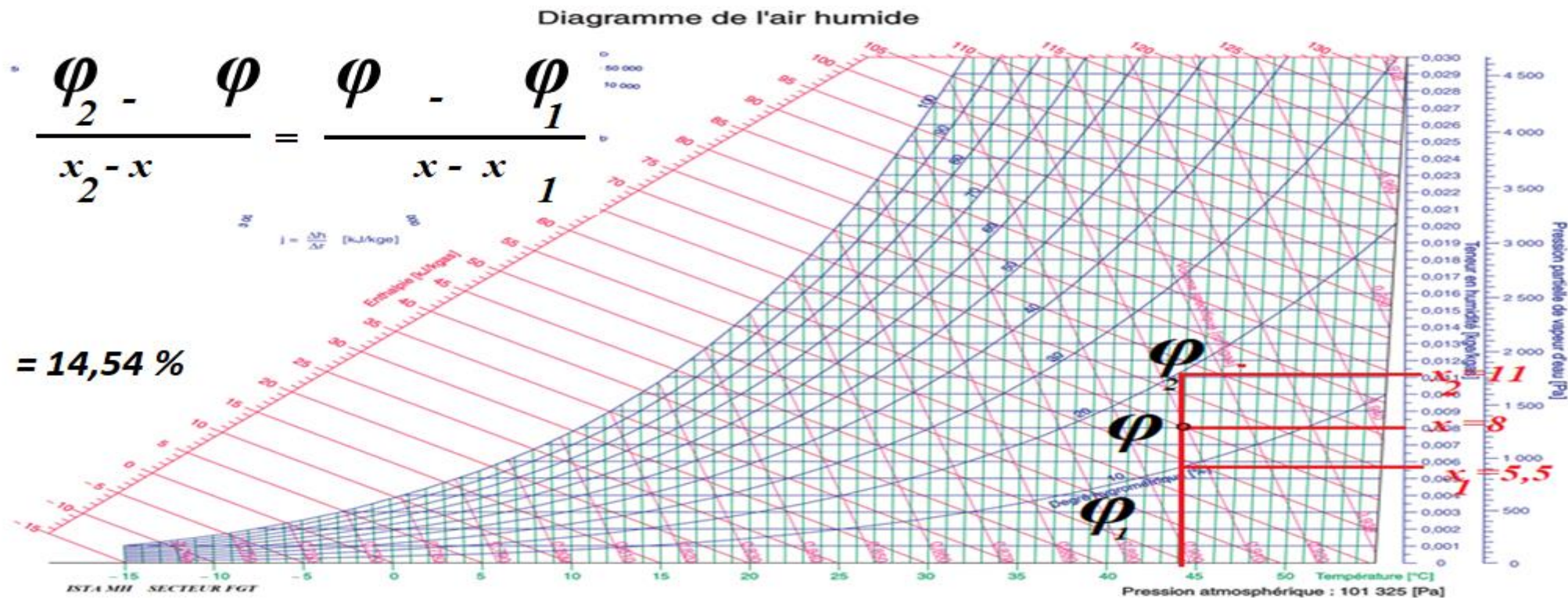




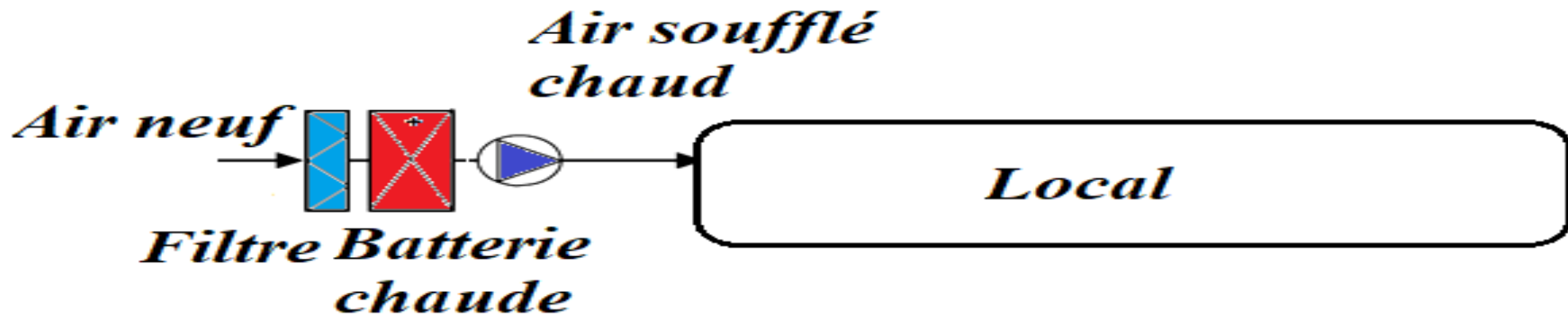
*Si le point se trouve entre 2 hyperboles , on utilise la loi d'interpolation linéaire de Pascal:*

$$\frac{\varphi_2 - \varphi}{x_2 - x} = \frac{\varphi - \varphi_1}{x - x_1}$$

$$\varphi = 14,54 \%$$



## 1. CHAUFFAGE :



*Il y a augmentation de température par apport de chaleur sensible uniquement (il n'y a ni condensation, ni évaporation d'humidité :*

*$x = \text{Cte}$ ).*

*Le chauffage se fait par passage de l'air sur une batterie chaude qui peut être :*

- ☐ *un échangeur alimenté par de l'eau chaude, en provenance d'une chaudière.*
- ☐ *Un condenseur alimenté par la vapeur du fluide frigorigène HP*
- ☐ *une résistance électrique (pour les faibles puissances).*

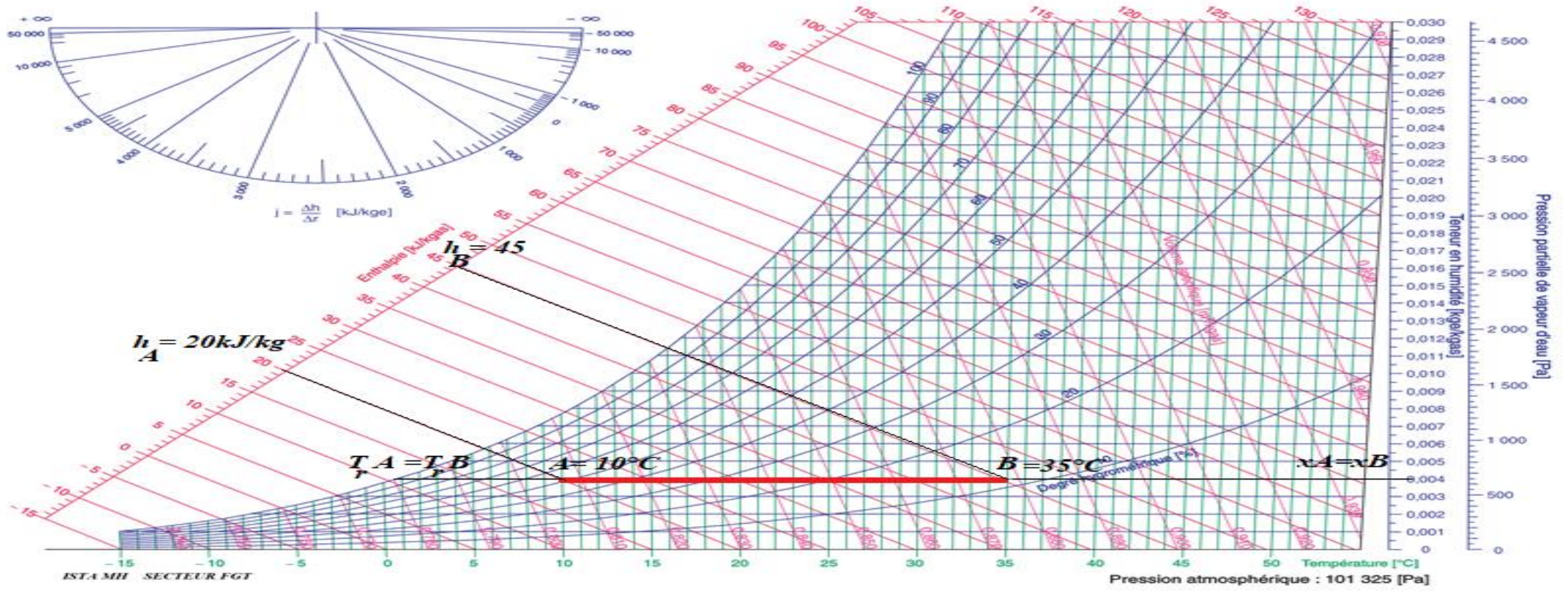
*Le chauffage est représenté sur le diagramme psychométrique par une horizontale entre les points A et B.*

*On remarque que lorsque la température sèche  $T_s$  augmente :*

- la température de rosée  $T_r$  reste constante*
- l'humidité absolue  $x$  reste constante*



Diagramme de l'air humide



*Calcul de la quantité de chaleur gagnée par l'air au passage sur une Batterie chaude:*

$$\begin{aligned} Q &= h_B - h_A \\ &= 45 - 20 \\ &= 25 \text{ kJ/KG} \end{aligned}$$

*Calcul de la puissance de la Batterie chaude:*

$$P = q_m * (h_B - h_A) \text{ en Kw}$$

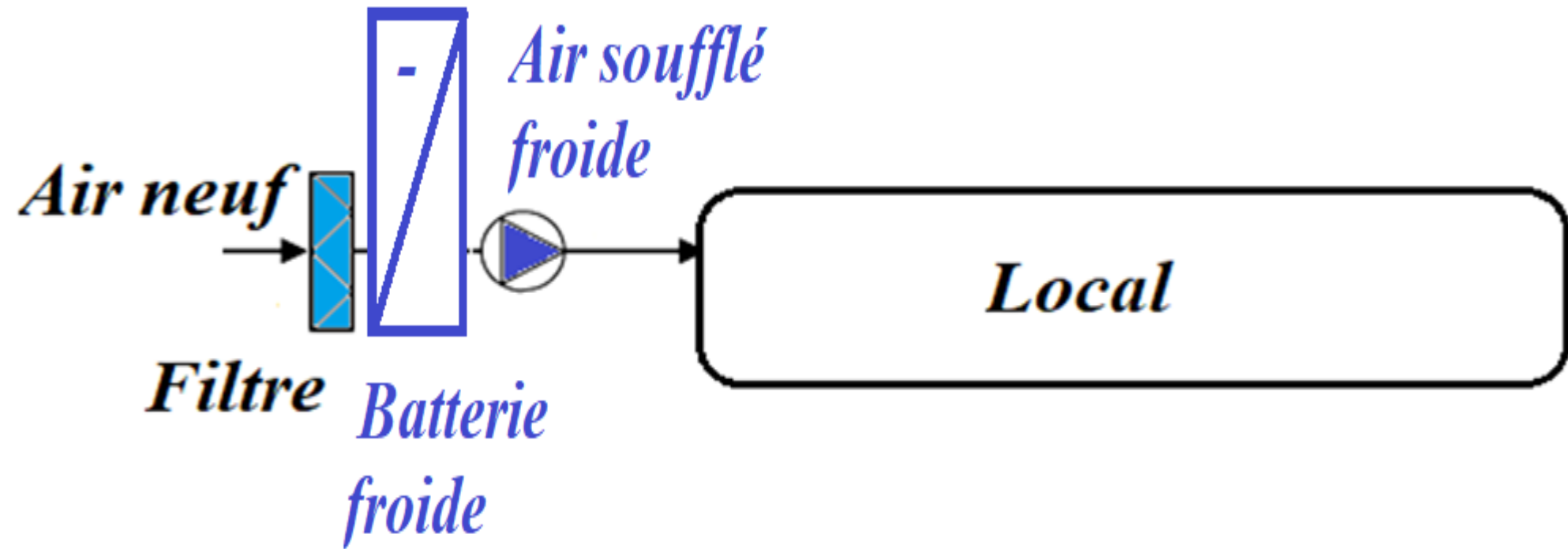
*Avec  $q_m$ : débit masse d'air en Kg/s*

*Si  $q_m = 100 \text{ g/s}$ ,*

*Alors,  $P = 100 * 10^{-3} * 25$   
 $= 2,5 \text{ kW}$*



## *2-Refroidissement :*



*Il y a diminution de température par retrait de chaleur sensible uniquement (il n'y a ni condensation, ni évaporation d'humidité :  $x = \text{Cte}$ ).*

*Le refroidissement se fait par passage de l'air sur une batterie froide qui peut être :*

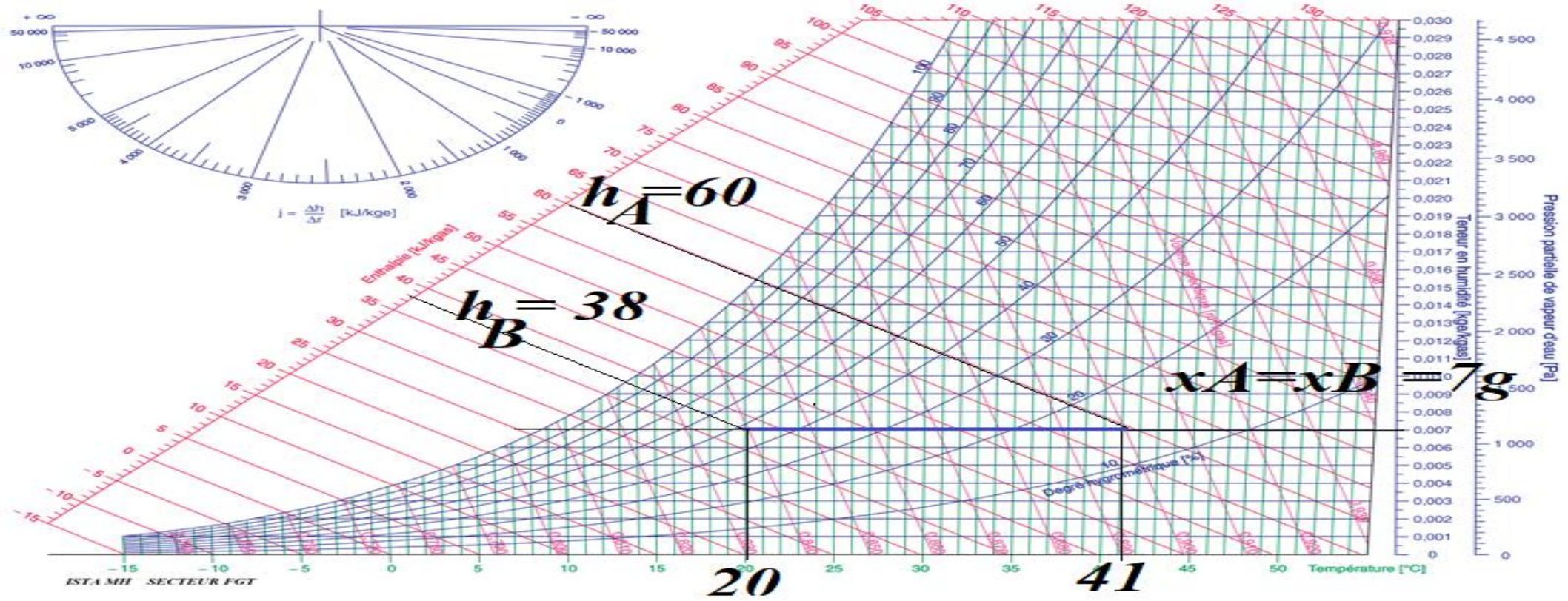
- ☐ *un échangeur alimenté par de l'eau froide, en provenance d'une centrale d'eau glacée (eau ou glycol) en détente indirecte.*
- ☐ *Un évaporateur alimenté par la vapeur du fluide frigorigène BP en détente directe.*

*Le refroidissement est représenté sur le diagramme psychométrique par une horizontale entre les points A et B.*

*On remarque que lorsque la température sèche  $T_s$  diminue :*

- la température de rosée  $T_r$  reste constante*
- l'humidité absolue  $x$  reste constante*

Diagramme de l'air humide



*Calcul de la quantité de chaleur perdue par l'air au passage sur une Batterie froide:*

$$\begin{aligned} Q &= h_B - h_A \\ &= 38 - 60 \\ &= -22 \text{ kJ/KG} \end{aligned}$$

*Calcul de la puissance de la Batterie froide:*

$$P = q_m * (h_B - h_A) \text{ en Kw}$$

*Avec  $q_m$ : débit masse d'air en Kg/s*

*Si*  $q_m = 100 \text{ g/s},$

*Alors,*  $P = 100 * 10^{-3} * (-22)$

$= - 2,2 \text{ kW}$

$= - 2,2/4,185$

$= - 0,525 \text{ Kcal/s}$

$= 0,525 \text{ fg/s}$

### *3- Humidification:*

#### *A- HUMIDIFICATION PAR INJECTION DE VAPEUR :*

*Elle est réalisée par injection de vapeur produite par un générateur de vapeur (à une température de 100°C sous une pression de 1 bar).*

*Dans ces conditions, l'évolution de l'air se fait à température sèche constante*

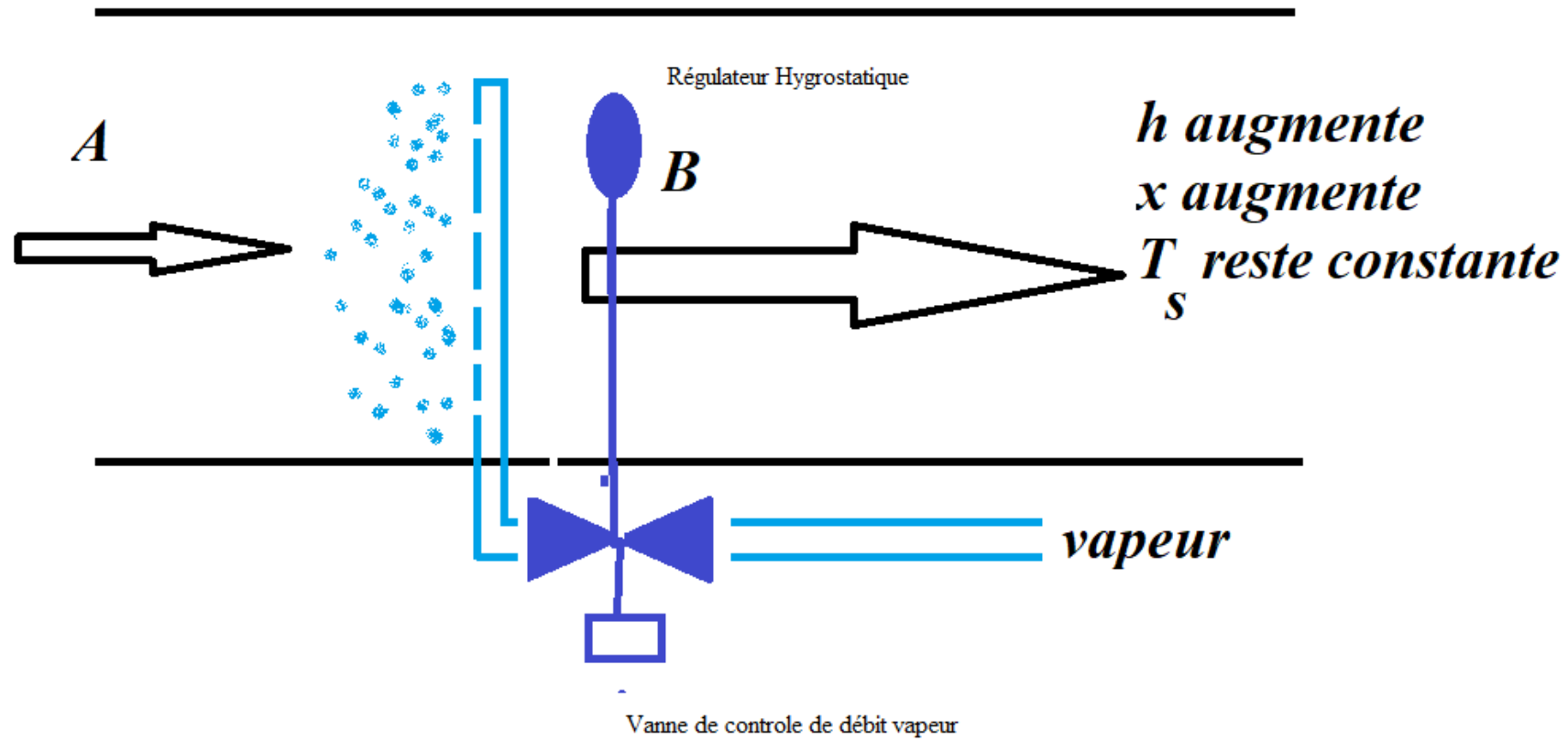
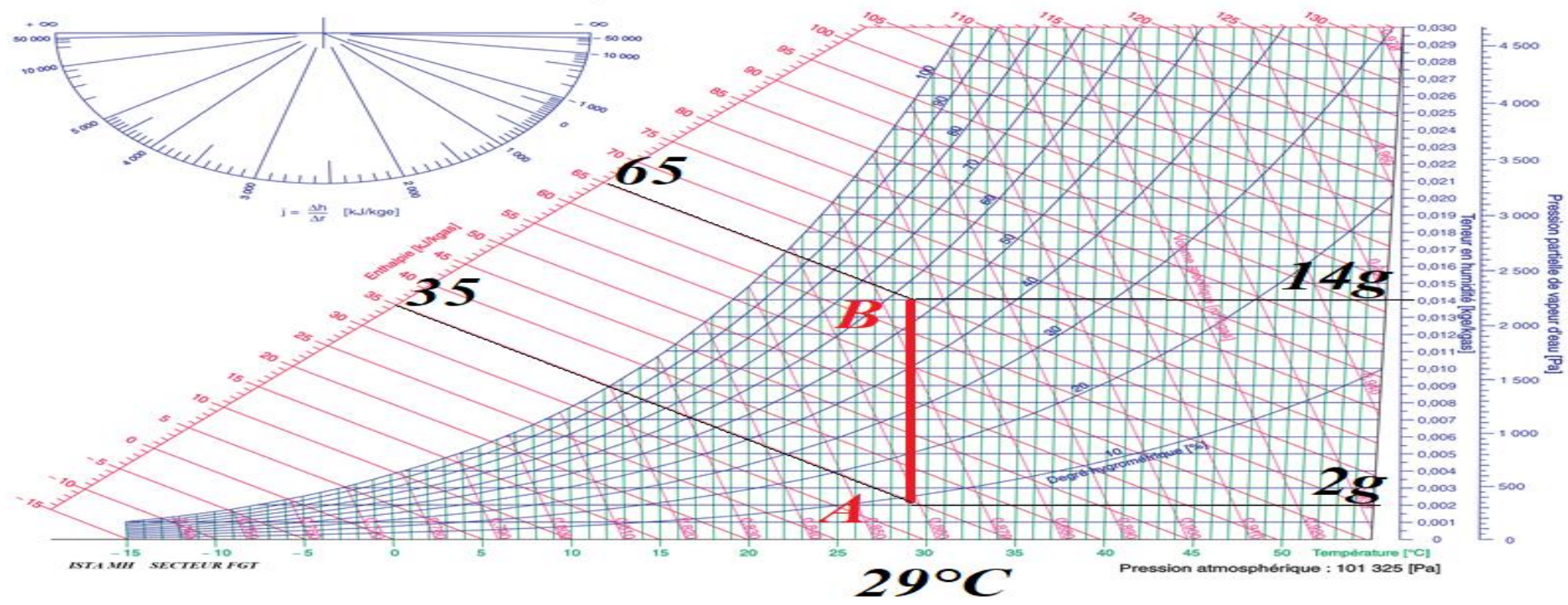




Diagramme de l'air humide



*Calcul de la quantité de vapeur injectée: (débit vapeur  $q_{mv}$ )*

$$M_v = xB - xA$$

*Avec,*

*$M_v$  la masse spécifique de la vapeur injectée en kg vapeur par kg as*

*$q_m$ : débit massique d'air sec kg as/s*

*$q_{mv}$ : débit massique de vapeur d'eau (kg vapeur/s)*

$$q_{mv} = q_m * M_v$$

*Calcul de la quantité de chaleur apportée par l'humidificateur à vapeur :*

$$Q = h_B - h_A$$

*Si  $q_m = 100$  g/s,*

*D'après DC:*

$$M_v = x_B - x_A = 14 - 2 = 12 \text{ g /kg as}$$

$$\begin{aligned} q_{mv} &= q_m * M_v \\ &= 100 * 12 * 10^{-6} \\ &= 12 * 10^{-4} \text{ kg /s} \\ &= 1,2 \text{ g/s} \end{aligned}$$

## ***B- HUMIDIFICATION PAR ATOMISATION:***

*Atomiser l'eau, c'est la diviser mécaniquement en particules si petites que leur seule diffusion dans l'air puisse provoquer leur évaporation presque instantanée. L'évolution d'air est adiabatique (sans échange thermique  $h = \text{CSTE}$ )*

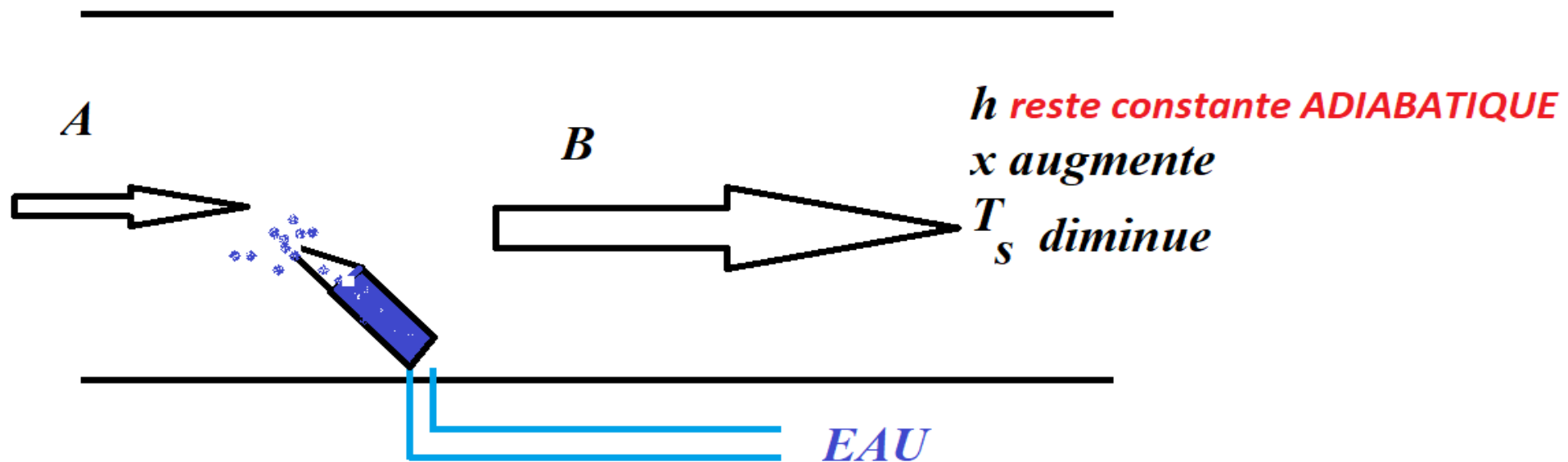
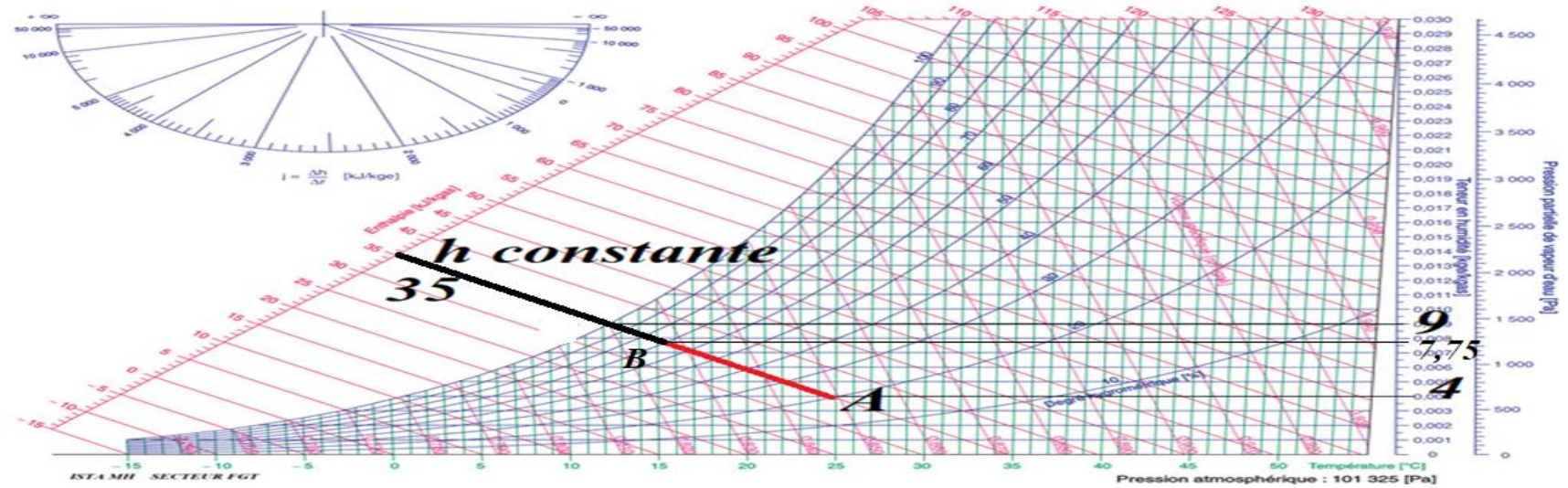


Diagramme de l'air humide



*Calcul de la quantité d'eau injectée (contrôlée): (débit eau  $q_{m\ H_2O}$ )*

$$M_{H_2O} = xB - xA$$

*Avec,*

*$M_{H_2O}$  : la masse d'eau injectée par l'atomiseur en kg par kg as*

*$q_m$  : débit massique d'air sec kg as/s*

*$q_{mH_2O}$  : débit massique d'eau (kg /s)*

$$q_{mH_2O} = q_m * M_{H_2O}$$

*Si  $q_m = 100 \text{ g/s}$ ,*

*D'après DC:*

$$M_{H_2O} = x_B - x_A = 7,75 - 4 = 3,75 \text{ g /kg as}$$

$$q_{mH_2O \text{ liquide}} = q_{m \text{ air}} * M_{H_2O}$$

$$= 100 * 3,75 * 10^{-6}$$

$$= 3,75 * 10^{-4} \text{ kg /s}$$

$$= 0,375 \text{ g/s}$$



## **C- HUMIDIFICATION PAR LAVEUR:**

### ***1-Laveur d'eau recyclée***

***Dans ce procédé d'humidification, la droite d'évolution de l'air suit une isenthalpe (  $h$  constante) jusqu'à la courbe de saturation.***

***L'air se sature en humidité sans modification de sa chaleur totale.  
NOTA : S'il n'y a pas modification de la chaleur totale, il y a cependant abaissement de la température de l'air traité.***

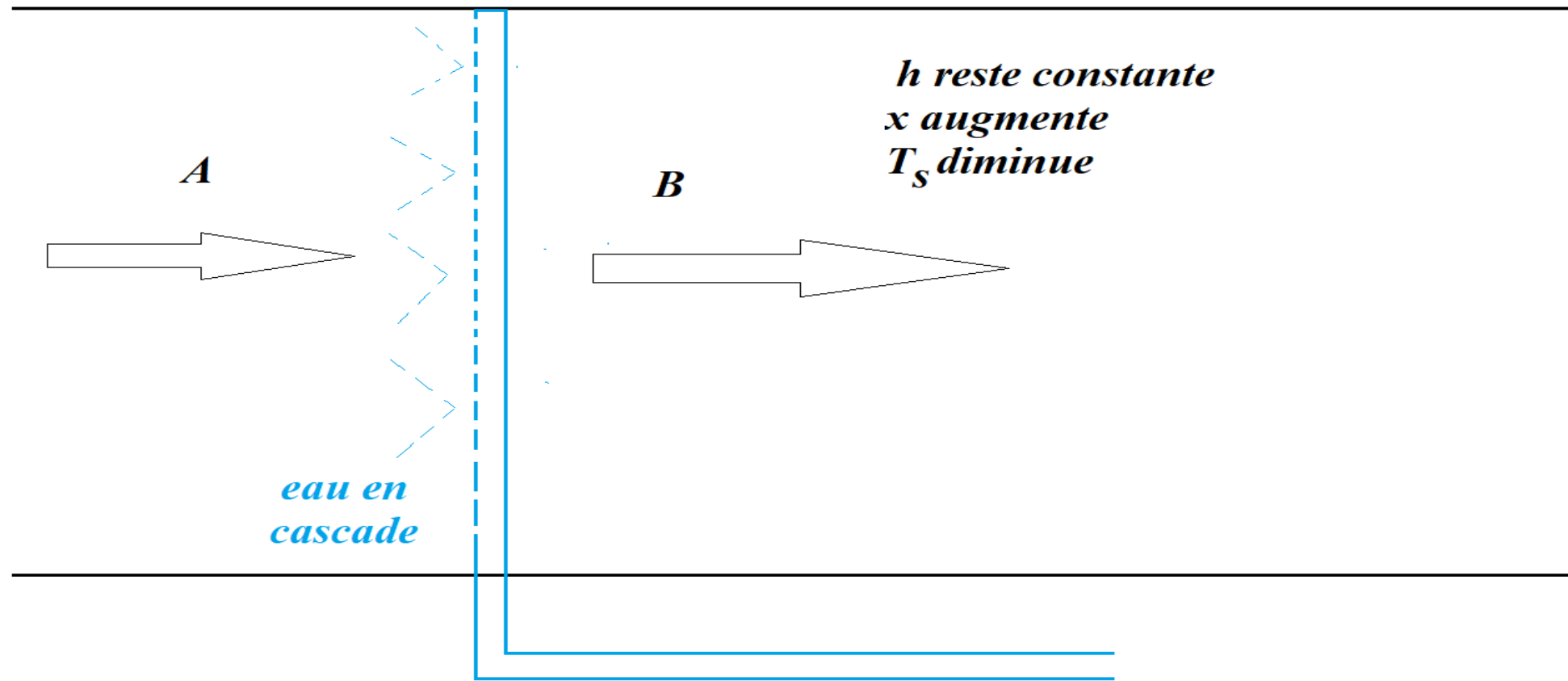
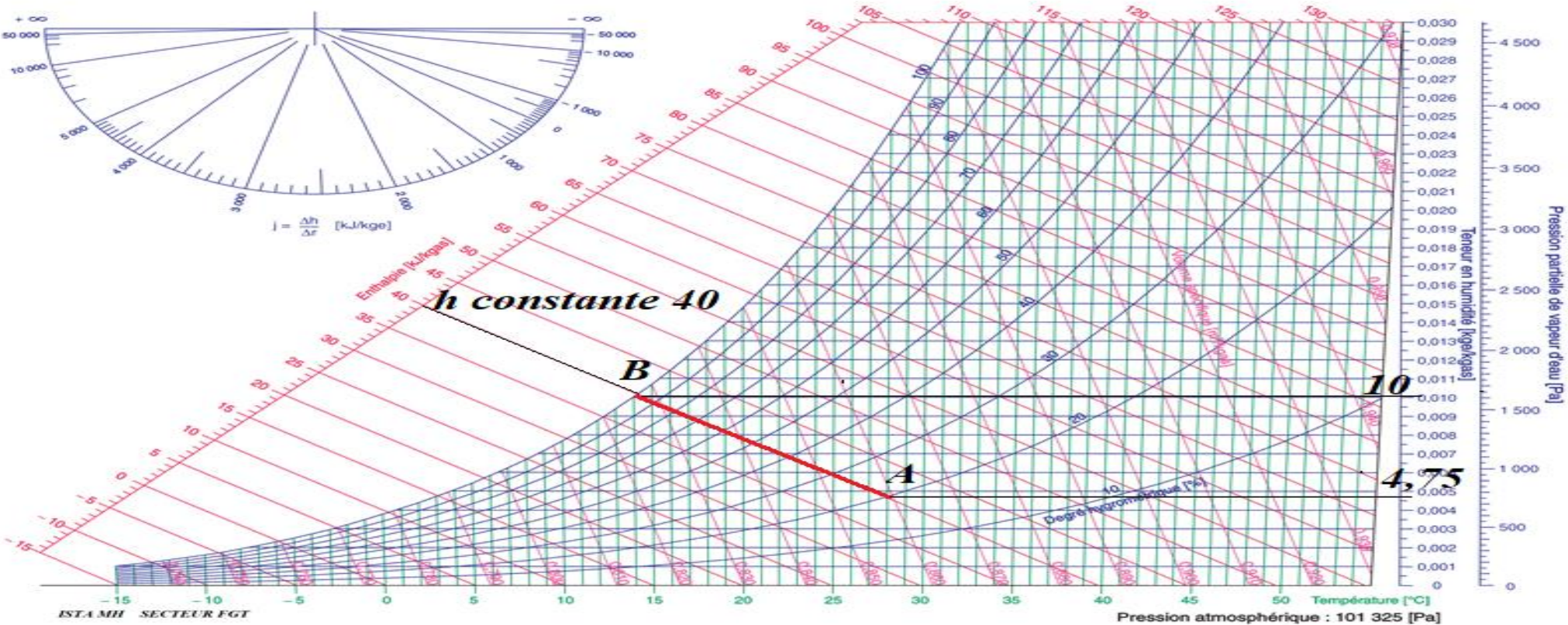


Diagramme de l'air humide



*Calcul de la quantité d'eau recyclée: débit eau  $q_{mH_2O}$  )*

$$M_{H_2O} = xB - xA$$

*Avec,*

*$M_{H_2O}$  : la masse d'eau injectée par l'atomiseur en kg par kg as*

*$q_m$  : débit massique d'air sec kg as/s*

*$q_{mH_2O}$  : débit massique d'eau (kg /s)*

$$q_{mH_2O} = q_m * M_{H_2O}$$

*Si  $q_m = 100 \text{ g/s}$ ,*

*D'après DC:*

$$M_{H_2O} = xB - xA = 10 - 4,75 = 5,25 \text{ g /kg as}$$

$$\begin{aligned} q_{mv} &= q_m * M_v \\ &= 100 * 5,25 * 10^{-6} \\ &= 5,25 * 10^{-4} \text{ kg /s} \\ &= 0,525 \text{ g/s} \end{aligned}$$

**Remarque:**

*Si la cascade d'eau est totalement en contact avec l'air, l'efficacité du laveur est*

$$e = 100\%$$

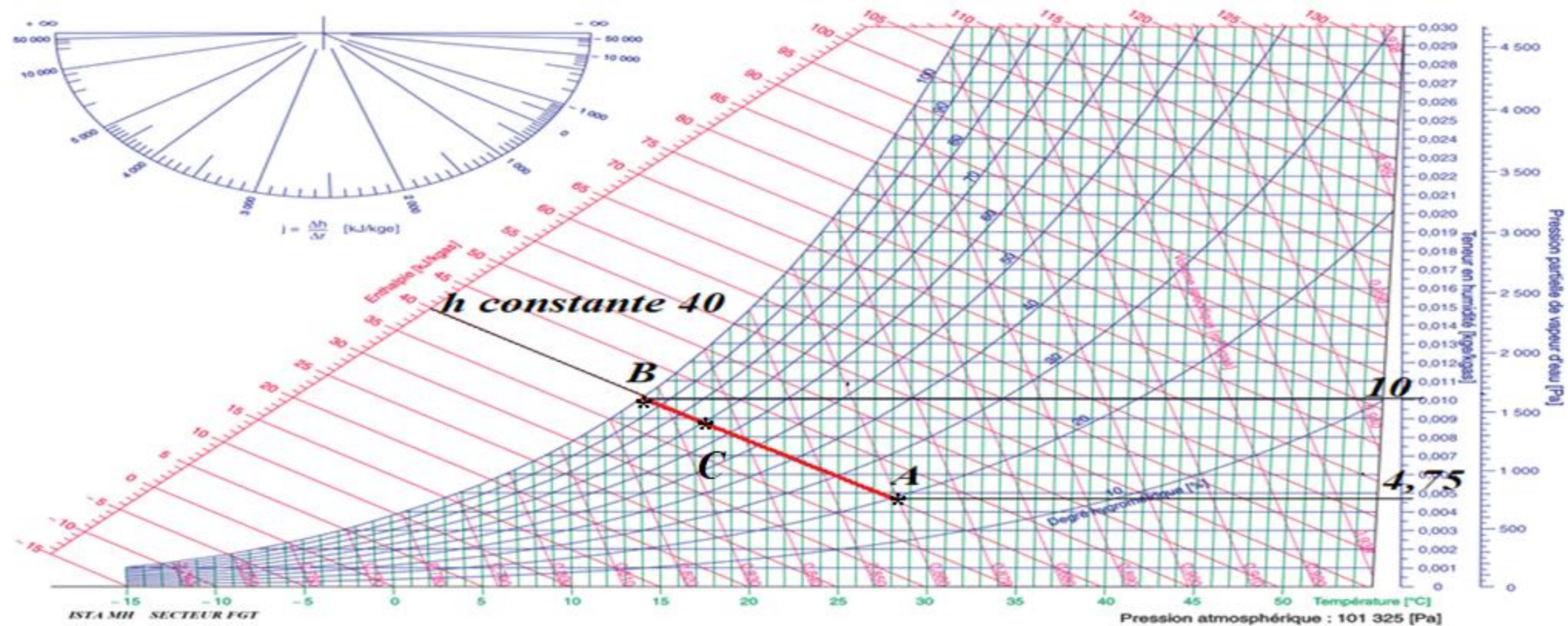
$$= \text{distance } AC / \text{distance } AB$$

*Sinon  $e < 100\%$*

$$e = \text{distance } AC / \text{distance } AB$$



Diagramme de l'air humide



#### **4-DESHUMIFICATEUR: ou SECHEUR**

*Le refroidissement de l'air, à une température inférieure à son point de rosée, s'accompagne toujours d'une déshumidification.*

*La diminution de température sèche s'accompagne de :*

- la diminution de la température de rosée*
- la diminution de l'humidité absolue.*

*Une telle transformation modifie à la fois la chaleur sensible et la chaleur latente de l'air considéré.*



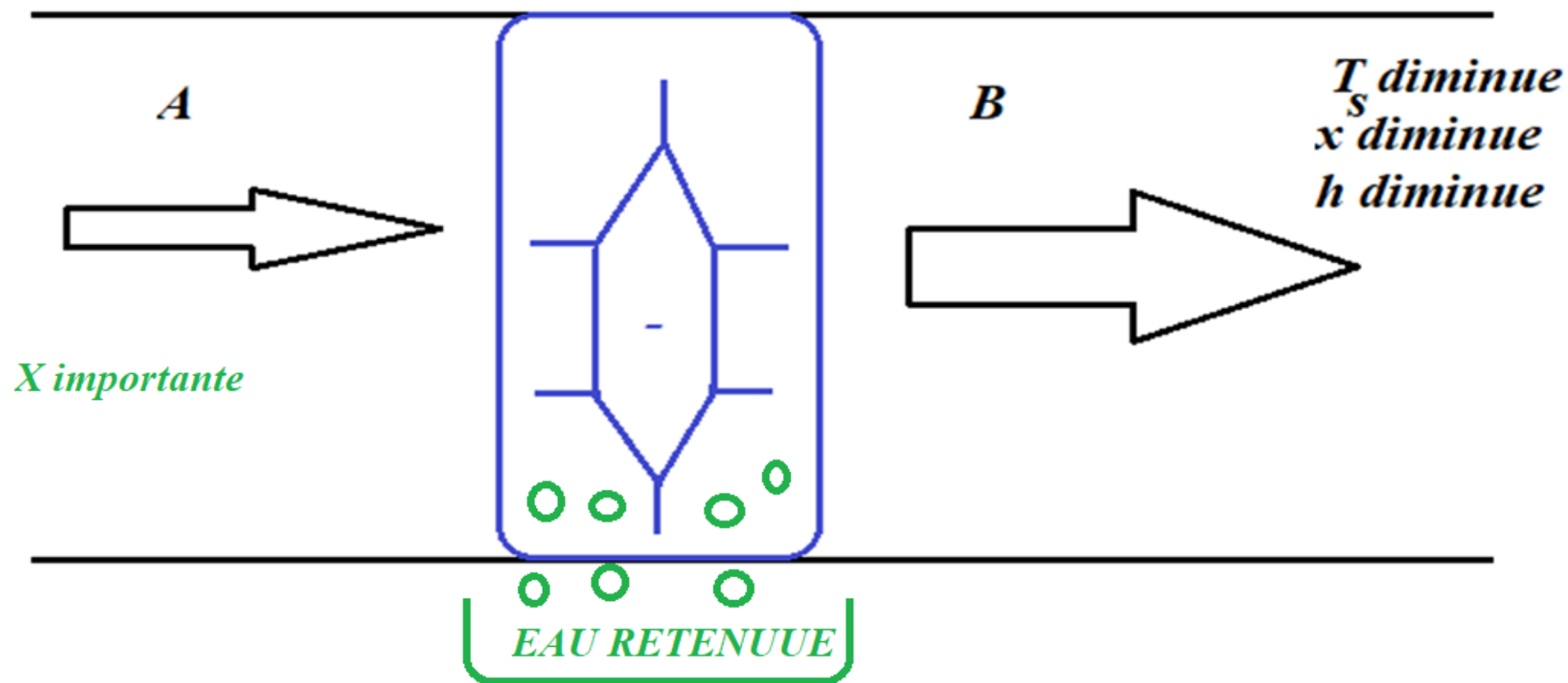
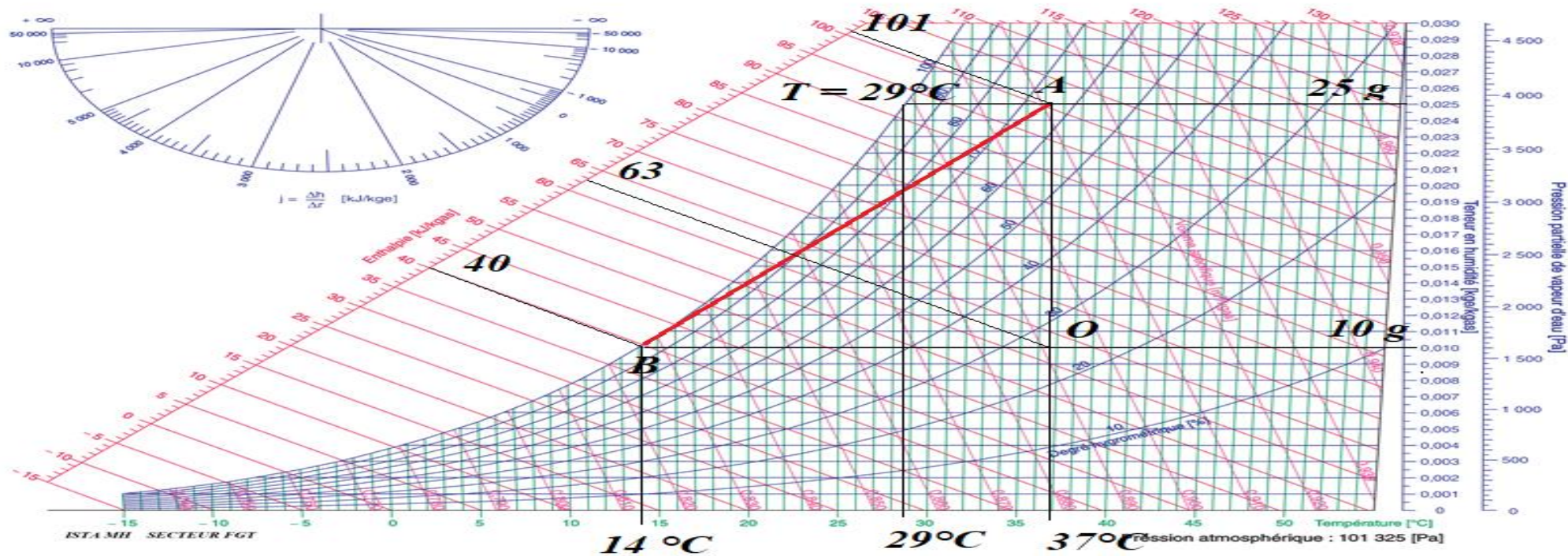


Diagramme de l'air humide



*Sur le diagramme psychrométrique l'évolution de l'air humide est représenté par le segment de droite AB.*

*C'est la droite d'évolution de l'air*

*Calculs par le diagramme La différence des lectures respectives d'enthalpies des points A et B,*

*soit  $101 - 40 = 61$  kj représente la chaleur totale à enlever qui se compose de la chaleur latente et de la chaleur sensible.*

*La chaleur latente est représentée par la portion « AO » de l'isotherme 37.*

*l'écart d'enthalpies correspond :*

*$CL = 101 - 63 = 38$  kj donne la quantité de chaleur représentée par la chaleur latente seule .*

*La chaleur sensible est représentée par la portion « OB » de l'isohydre passant par le point B(x constante).*

*CS : l'écart d'enthalpie correspond :  $63 - 40 = 23$  KJ donne la quantité de chaleur représentée par la chaleur sensible seule*

*-La chaleur totale :*

$$CT = C1 + Cs = 38 + 23 = 61 \text{ KJ}$$

*Facteur de chaleur sensible: FCS ou SHF (shelf height factor)*

*est déterminé par le rapport :*

$$SHF = \frac{CS}{CT}$$

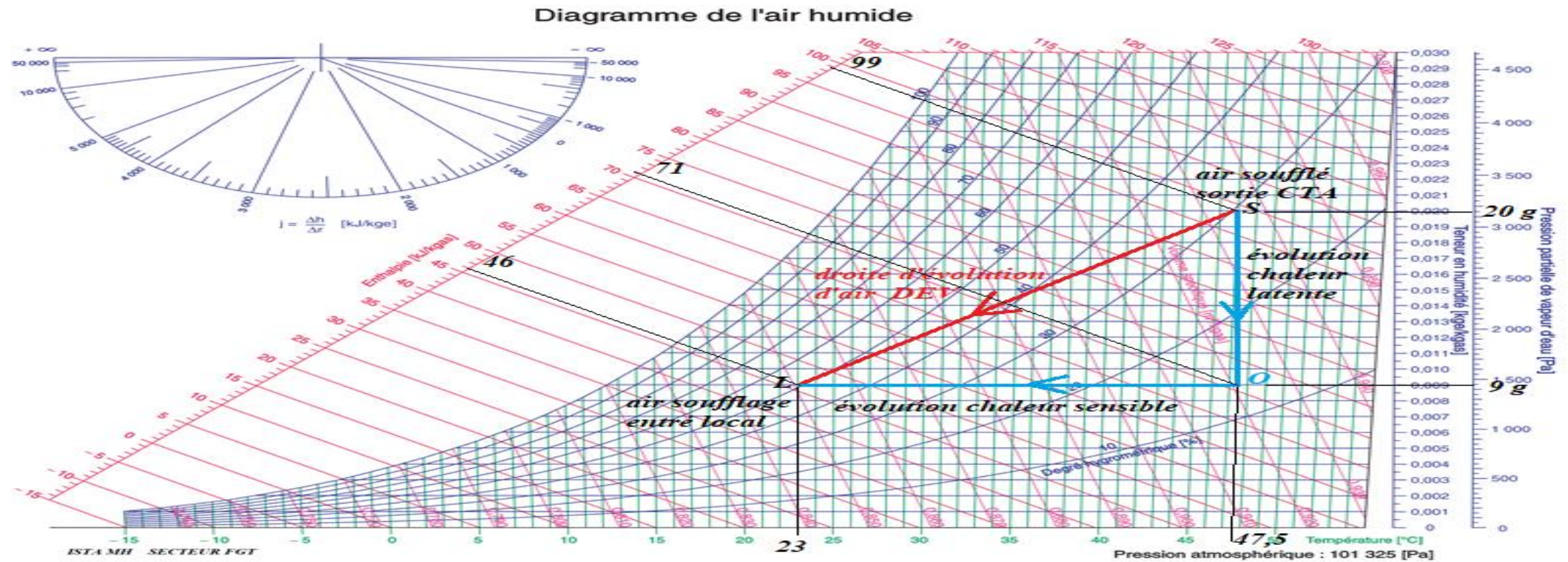
$$\begin{aligned} SHF &= \frac{23}{61} \\ &= 0,377 \end{aligned}$$

*La quantité d'eau enlevée est représentée par la différence des valeurs de teneur en eau entre l'air A et B*

$$m_{H_2O} = 25 - 10 = 15 \text{ g/kg}$$



## **DROITE D'EVOLUTION D'AIR:**



*DEV est la droite d'évolution d'air est la droite entre S(sortie CTA) et L(entré local):*

*On trace le triangle fictif « SOL » qui rassemble les 2 transformations , à savoir la chaleur latente ( x diminue ou augmente et T reste constante) et la chaleur sensible (x reste constante et T diminue ou augmente).*

*Perte de charge :*

$$\Delta T = T_S - T_L$$

***Chaleur latente:***

$$CL = h_O - h_S$$

***Chaleur sensible:***

$$CS = h_L - h_O$$

***Chaleur totale:***

$$\begin{aligned} CT &= CL + CS \\ &= h_L - h_S \end{aligned}$$

**Différence Teneur en vapeur d'eau :**

$$\Delta x = x_S - x_L$$

***Shelf height factor SHF ou facteur de chaleur sensible FCS:***

$$SHF = CS / CT$$

***Si  $SHF > 0,8$  on dit que le gainable est bien isolé***

**Exemple :**

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_S - T_L \\ &= 47,5 - 23 = 24,5 \text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}CL &= h_O - h_S \\ &= 71 - 99 = -28 \text{ Kj /kg}\end{aligned}$$

$$CS = h_L - h_O$$

$$CS = 46 - 71 = -25 \text{ Kj/kg}$$

$$\begin{aligned}CT &= CL + CS \\ &= -28 - 25 = -53 \text{ KJ/kg}\end{aligned}$$

$$SHF = CS / CT = 25 / 53 = 0,47 ===== \rightarrow \text{mauvaise isolation (faible épaisseur)}$$



