

TD5 : Partie séchage

Exercice 1

Pour l'air d'une pièce où la température humide est $T_h = 20^\circ\text{C}$, et la température sèche est $T_a = 25^\circ\text{C}$.

- Estimer l'humidité relative **HR**, l'humidité absolue **Y**, l'enthalpie **H** et le volume spécifique **Vs**.

Exercice 2

Si l'air de l'exemple HR de l'air chauffé précédent doit être chauffé à une température de thermomètre sec de 40°C ,

- Calculer la chaleur nécessaire pour un courant de $1000 \text{ m}^3/\text{heure}$ d'air chaud à assurer pour un séchoir ;

Exercice 3

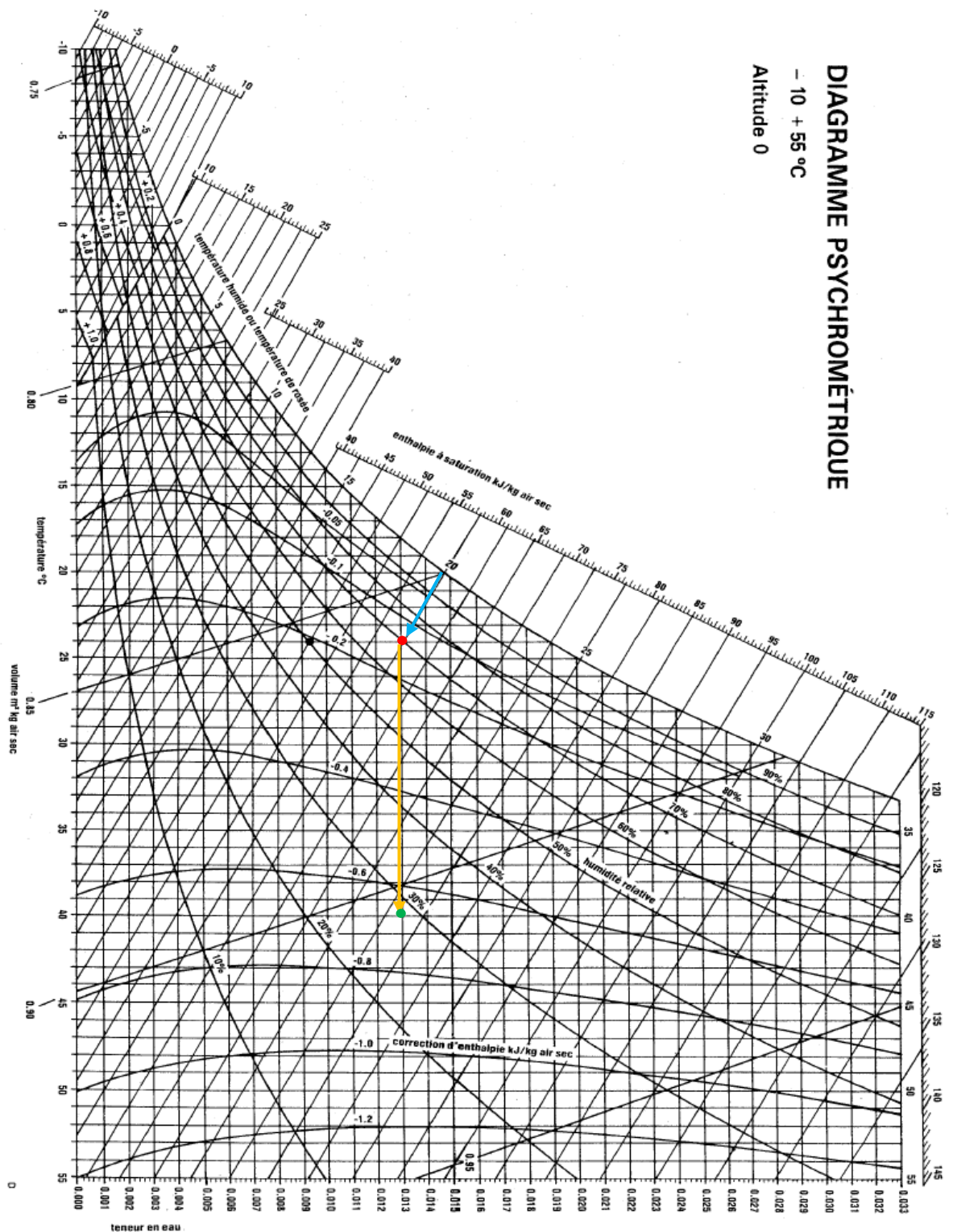
Un air à 60°C et 8% d'humidité relative est soufflé à travers un séchoir en continu, du quel il sort à la température de 35°C . Estimer :

- La quantité d'eau à éliminer par kg d'air passant.
- Le d'air de séchage nécessaire pour éliminer 20 kg d'eau par heure.
- Comment ajuster le contenu en eau de l'air pour éviter sa saturation.

TD 5 : Solutions

Solution 1

- Nous avons les valeurs de deux grandeurs caractéristiques de l'air donc je choisis d'utiliser le diagramme pour lire toutes les autres caractéristiques de cet air (voir le schéma ci-dessous).
- D'abord je dois positionner mon air sur le diagramme (voir la figure) : à sa température humide $T_h = 20^\circ\text{C}$ l'air est saturé (HR=100%), donc en déplaçant à partir de la saturation sur l'isenthalpe (flèche bleue) jusqu'à l'isotherme de température sèche égale à 25°C (le point rouge).
- Ensuite, je peux lire les différentes grandeurs :
 $HR = 70\%$, $H = 57,5 \text{ kJ/kg}$, $Y = 0,013 \text{ kg/kg}$, $V_s = 0,862 \text{ m}^3/\text{kg}$



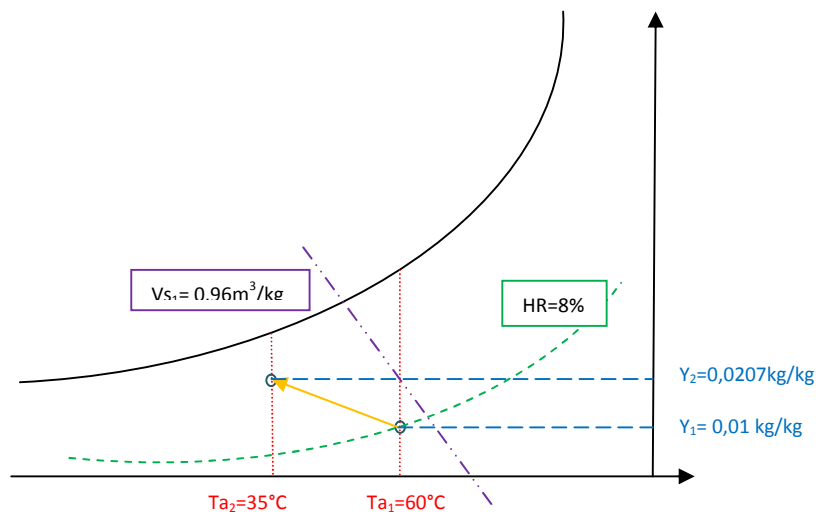
Solution 2

- D'abord, positionner l'air après chauffage en se déplaçant sur l'isohyde (voir la figure ci-dessus; flèche orange) jusqu'à l'isotherme 40°C, l'enthalpie de l'air à ce point vert est 74,5 kJ/kg. Et son volume spécifique est 0,906 m³/kg.

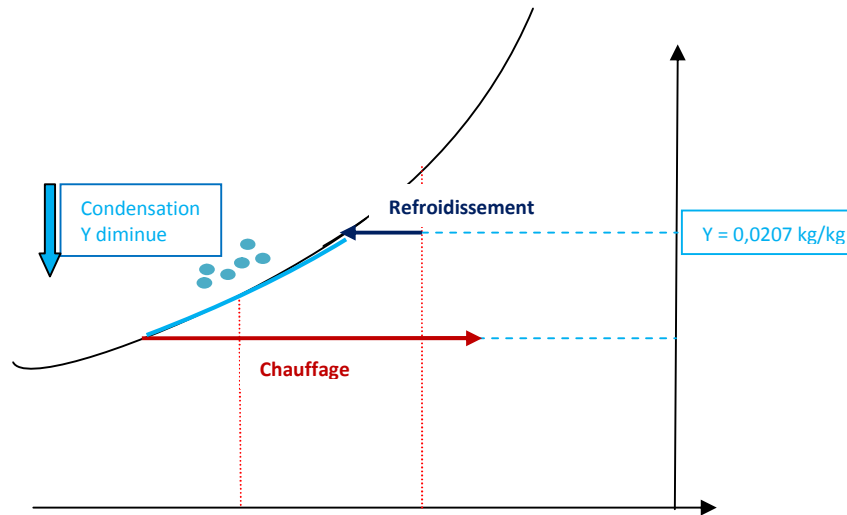
- calculer la quantité d'énergie par rapport à 1kg d'air sec par la variation d'enthalpie entre l'air chauffé et l'air initial : $\Delta H = H_2 - H_1 = 74,5 - 57,5 = 17 \text{ kJ/kg}$.
- Alors, 1kg d'air sec chaud qui correspond à un volume de 0,906 m³ nécessite 17 kJ pour son chauffage. Donc, pour 1000m³/heure d'air chaud nous avons besoins de $\frac{1000 \times 17}{0,906} = 18\,763,8 \text{ kJ/heure} = 5,21 \text{ kW}$

Solution 3

- Il faut représenter l'air à l'entrée du sécheur A1 et l'air à la sortie du sécheur A2 (séchage : flèche jaune) sur le diagramme pour tirer les différentes caractéristiques nécessaire (voir schéma ci-dessous).



- Quantité d'eau éliminée par 1kg d'air sec passant est 0,0107 kg d'eau : $\Delta Y = Y_2 - Y_1 = 0,0207 - 0,01 = 0,0107 \text{ kg/kg}$
- Volume d'air nécessaire pour éliminer 20kg d'eau par heure est 1794m³/heure :
1 kg d'air A1 à un volume de 0,96m³ et il peut éliminer 0,0107 kg d'eau donc pour éliminer 20kg d'eau/heure, nous avons besoin de :
$$\frac{20 \times 0,96}{0,0107} = 1794,39 \text{ m}^3/\text{heure}$$
- Comment ajuster le contenu en eau de l'air pour éviter sa saturation (voir schéma ci-dessous) :



Premièrement, on doit refroidir l'air par déplacement sur l'isohyde $= 0,0207 \text{ kg/kg}$ jusqu'à sa saturation (HR= 100%). Ensuite, une quantité d'eau doit être éliminée par condensation, en se déplaçant sur la courbe de saturation tout en diminuant Y. Enfin, l'air doit être chauffé jusqu'à la température voulue, en se déplaçant sur un isohyde (Y voulue)

TD 6 : Partie séchage

Exercice 1

L'air émergent d'un séchoir avec une température de 45°C passe par dessus une surface qui est refroidie progressivement. Les premières traces de condensat apparaissent sur cette surface quand elle est à 40°C .

- Quelle est l'humidité absolue (Y) de l'air quittant le séchoir.

Exercice 2

Un courant d'air de $1800 \text{ m}^3/\text{heure}$ initialement à 18°C et 50% doit être utilisé dans un séchoir.

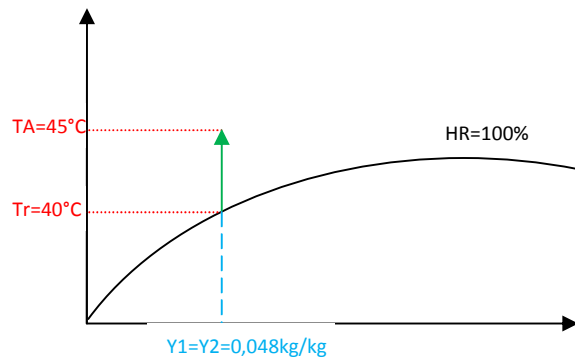
- On le chauffe à 140°C , puis on le fait passer par-dessus une série de plateaux dans un séchoir à étagère pour sécher un aliment. Il le quitte à 60% d'HR.
- On le réchauffe alors à 140°C et on le fait passer par une autre série de plateaux qu'il quitte à HR = 60%.

Quelle est l'énergie nécessaire pour chauffer l'air et la quantité d'eau éliminée ?

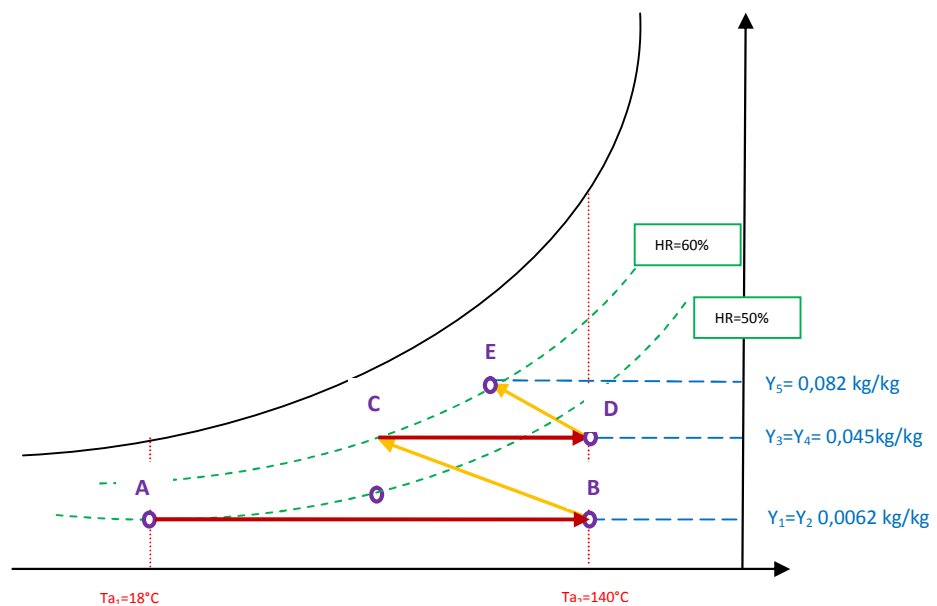
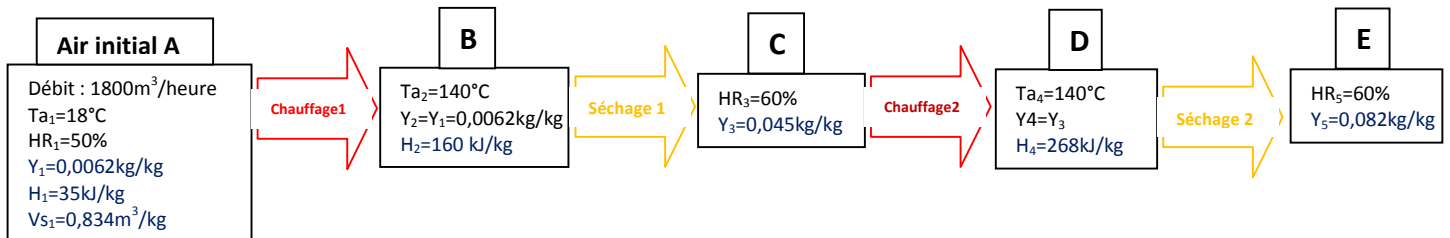
TD 6 : Solutions

Solution 1

- la température 40°C est le point de rosé de l'air quittant le séchoir (apparition de condensat après refroidissement).
- Par la température de rosé est la température sèche, je peux positionner mon air sur le diagramme et lire l'humidité absolue $Y = 0,048 \text{ kg/kg}$ de cet air.
- A partir de la courbe de saturation où l'air se trouve à 40°C je me déplace sur l'isohyde (Y constante) jusqu'à la température sèche 45°C. c'est le point A qui représente l'air (voir le schéma).



Solution 2



- Quantité d'énergie nécessaire pour le chauffage de l'air : toutes les valeurs sont tirées du diagramme (voir les deux schémas).

$$E_{\text{chauffage}} = E_{\text{chauff1}} + E_{\text{chauff2}}$$

- Pour un 1kg d'air sec

$$\Delta H = (H_B - H_A) + (H_D - H_C) = (H_B - H_C) + (H_D - H_A)$$

$$\Delta H = H_D - H_A = 268 - 35 = \mathbf{233 \text{ kJ/kg}}$$

- Pour un 1800 m3/heure d'air sec

1 kg d'air sec qui correspond à 0,834 m³ nécessite 233 kJ d'énergie donc :

$$E = \frac{1800 \times 233}{0,834} = \mathbf{502\ 877,69 \text{ kJ/heure} = 140 \text{ kw}}$$

- Quantité d'eau éliminée pendant les deux séchages : toutes les valeurs sont tirées du diagramme (voir les deux schémas).

- Pour un 1kg d'air sec

$$\Delta Y = (Y_3 - Y_2) + (Y_5 - Y_4) = (Y_3 - Y_4) + (Y_5 - Y_2)$$

$$\Delta Y = Y_5 - Y_2 = 0,082 - 0,0062 = \mathbf{0,0758 \text{ kg/kg}}$$

- Pour un 1800 m3/heure d'air sec

1 kg d'air sec qui correspond à 0,834 m³ élimine 0,0758 kg d'eau donc :

$$\mathbf{Quantité\ d'eau\ éliminée} = \frac{1800 \times 0,0758}{0,834} = \mathbf{163,6 \text{ kg/heure}}$$

TD 7 : Partie séchage

Exercice 1

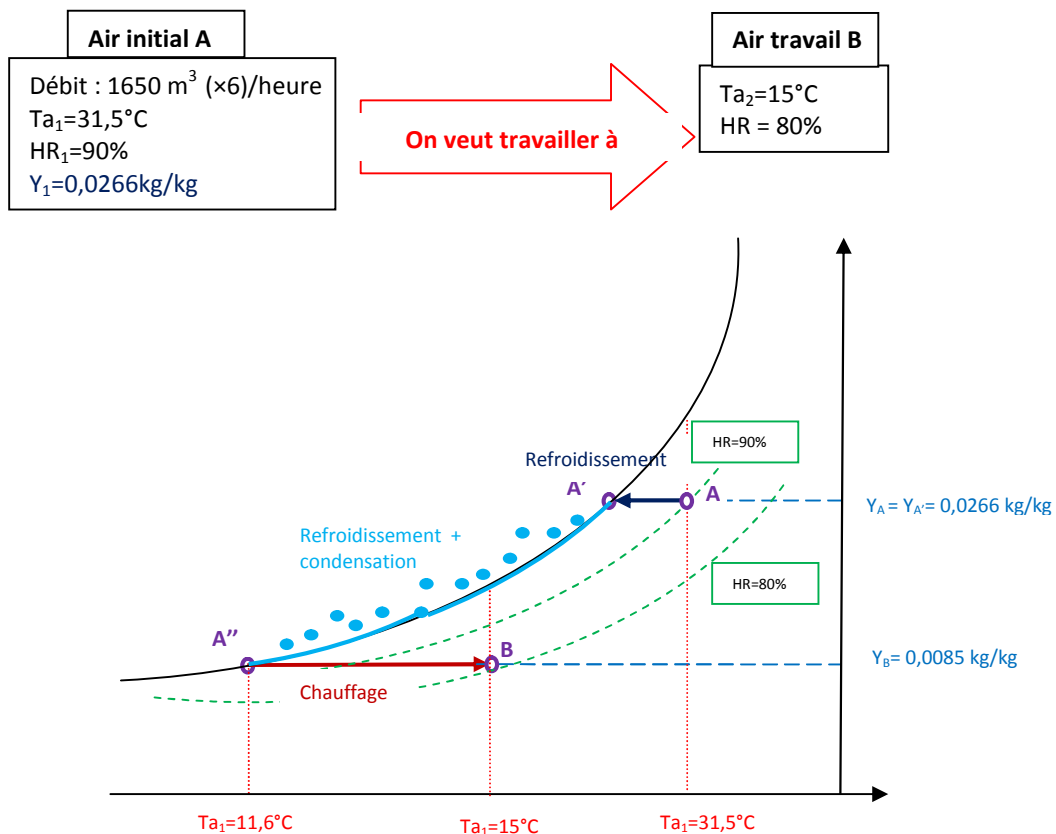
Dans un pays tropical, on désire travailler dans des conditions d'air de 15°C et 80% HR, l'air ambiant est à 31,5°C et 90% d'HR. Si on choisit de refroidir l'air afin de condenser un peu d'eau et de réduire suffisamment son humidité, et ensuite le chauffer si nécessaire, déterminer :

- La température à laquelle l'air doit être refroidi ;
- La quantité d'eau éliminée ;
- Le niveau de chauffage nécessaire.

La pièce où s'effectue le travail à un volume de 1650 m³, et il a été estimé que ce volume doit être renouvelé 6 fois par heure.

Exercice 2

Dans une situation de séchage à basse température, de l'air à 60°C et 10% d'HR est passé par-dessus un lit de carottes coupées en dés à un taux de 20 kg d'air sec par seconde. Si le taux d'évaporation des carottes, mesuré par la variation de poids des carottes, est 0,16 kg/s. Estimer la température et l'HR de l'air quittant le séchoir.

TD 7 : Solutions**Solution 1**

- La température de l'air après refroidissement (refroidissement plus condensation voir le schéma) est **11,6°C**.
- Quantité d'eau éliminée :
 - L'eau est éliminée par condensation entre le point A' et A'' donc
 $\Delta Y = Y_{A''} - Y_{A'} = 0,0266 - 0,0085 = 0,018 \text{ kg/kg}$
 - Pour un débit de 1650 × 6 m³/heure et un volume spécifique de l'air B
V_{SB}=0,827m³/kg

$$l' \text{ eau éliminée} = \frac{1650 \times 6 \times 0,018}{0,827} = 11\,970,97 \text{ kg/heure}$$

- L'énergie de chauffage entre le point A'' et B (voir le schéma).

$$\Delta H = H_B - H_{A''} = 37 - 33,5 = 3,5 \text{ kJ/kg}$$

Donc :

$$\begin{aligned} \text{niveau de chauffage} &= \frac{1650 \times 6 \times 3,5}{0,827} = 41\,898,39 \text{ kJ/heure} \\ &= 11,6 \text{ kw} \end{aligned}$$

Solution 2



- Pour déterminer la **Ta** et **HR** de l'air à la fin de séchage, il faut d'abord, trouver une caractéristique de cet air pour le positionner sur le diagramme de l'air humide :

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Chaque seconde, il y'a passage de 20 kg d'air sec de A et en même temps,} \\ \text{chaque seconde, il y'a diminution de la masse des carottes par 0,16 kg.} \end{array} \right.$

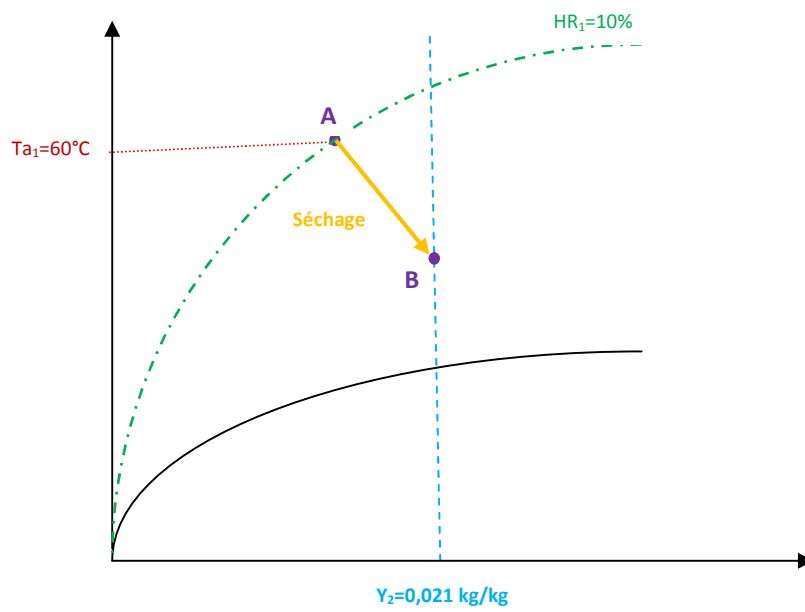
Donc,

20 kg d'air sec évapore 0,16 kg d'eau \iff 1kg d'air sec évapore

$$\Delta Y = \frac{0,16}{20} = 0,008 \text{ kg/kg}$$

- L'humidité absolue de l'air B : (la valeur de Y_1 est tiré du diagramme, voir schéma ci-dessous) :

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y = 0,013 + 0,008 = 0,021 \text{ kg/kg.}$$



- A partir du diagramme, $T_{a2} = 41^\circ\text{C}$ et $HR2 = 42\%$.