

## Chapitre N° 4 : Centrale de traitement d'air (CTA)

### Définition :

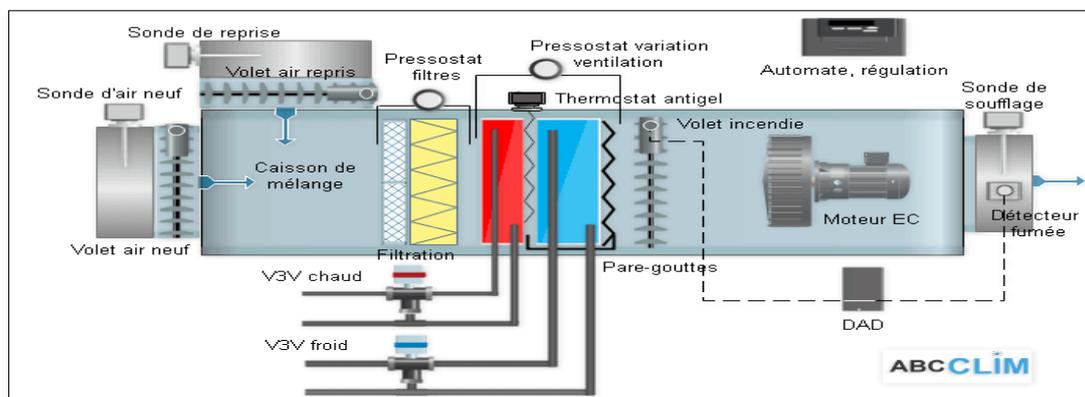
Une centrale de traitement d'air est un élément technique dédié au chauffage au rafraîchissement, à l'humidification ou à la déshumidification des locaux tertiaires ou industriels, c'est un système tout air à débit constant ou variable.

Une CTA est soit de type monobloc, soit elle est constituée de modules additionnés les uns aux autres, suivant la configuration, modules ventilation, module batteries froides et chaudes, module filtres, etc...

Il existe deux types de centrales de traitement d'air :

- La CTA simple flux, elle est soit tout air neuf, soit tout air repris ou encore en mélange des deux flux
- La CTA double flux, elle permet toutes les combinaisons possibles entre la reprise d'air, l'air neuf, l'air rejeté, l'air traité suivant la configuration.

### ✓ Détails d'une centrale de traitement d'air, simple flux



#### ▪ Rôle des divers éléments:

**Volet d'air neuf** : Ce volet motorisé règle en fonction de la régulation le débit d'air neuf, il a aussi une fonction antigel.

**Volet de reprise**: Il règle l'admission de l'air repris dans le local à traiter, fonctionne en parallèle avec le volet d'air neuf.

**Boîte de mélange** : Permet le mélange de l'air neuf et de l'air de reprise. Les volets d'air de reprise et d'air neuf sont synchronisés à partir d'un jeu de tringleriez ou de moteurs indépendants.

**Pressostat filtres** : Détection défaut filtres encrassés, alarme seule.

**Pressostat variation ventilation**: Détecteur de type transducteur qui permet de modifier la vitesse de rotation du moteur en fonction de l'encrassement des filtres.

**Filtration**: La filtration protège la CTA contre la poussière et les diverses particules nuisibles. Il peut y avoir plusieurs niveaux de filtration de moyenne à haute efficacité.

**Batterie chaude** : Serpentin en cuivre ou l'eau chaude circule munie d'ailettes en aluminium afin de favoriser l'échange avec l'air, l'eau et l'air circulent à contre-courant.

**Batterie froide** : La batterie froide peut être à détente directe (fluide frigorigène) ou à eau glacée (configuration identique à la batterie eau chaude).

**Humidificateur** : L'humidification s'effectue par ruissellement d'eau sur un matelas de fils d'acier galvanisé ou par injection de vapeur (non représenté).

**Pare gouttelettes** : Évite l'entraînement de goutte d'eau.

**Volet incendie** : Limite la propagation des fumées par compartimentage.

**DAD** : Détecteur Autonome Déclencheur, protection incendie, commande le volet incendie.

**Détecteur de fumée** : Détection de fumée qui permet au DAD d'agir sur le volet incendie

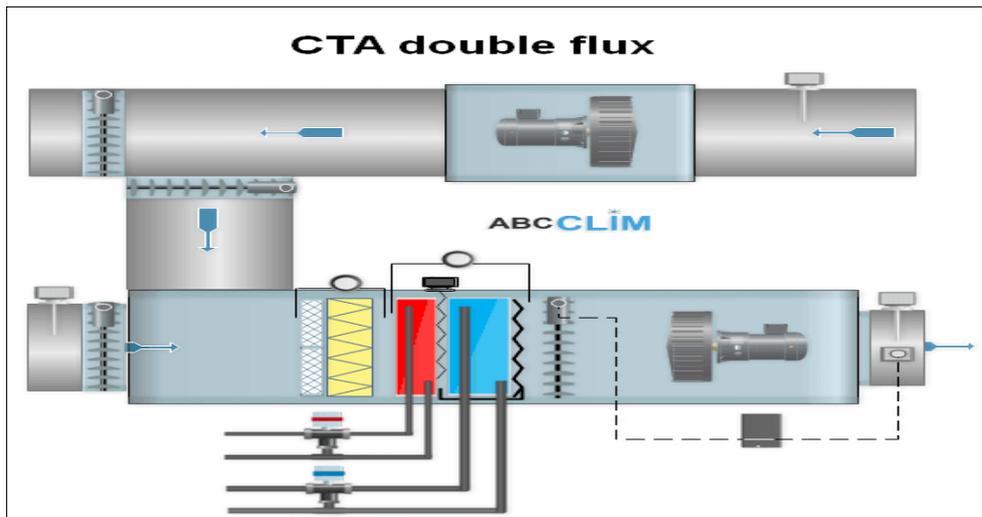
**Bloc ventilateur** : Le ventilateur peut être à action ou à réaction, entraînement par courroies, direct ou à commutation électronique (EC).

### ✓ **CTA double flux**

Une CTA double flux peut fonctionner :

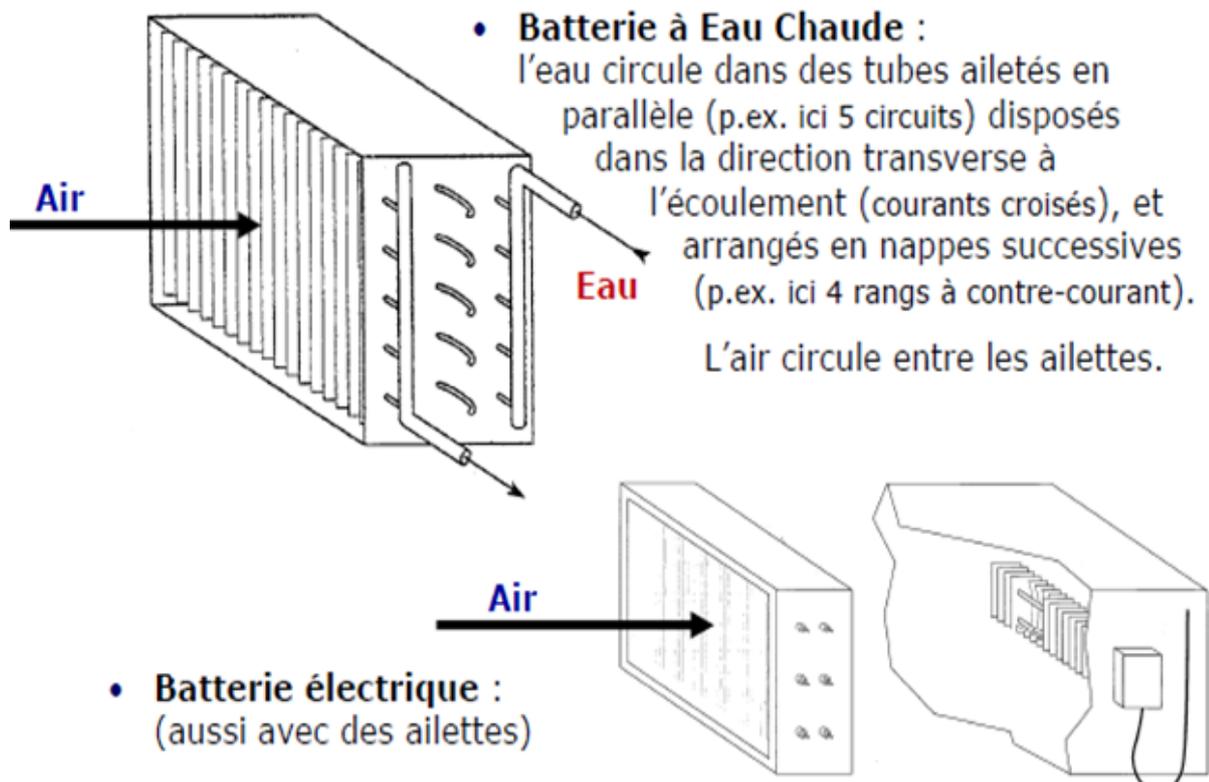
- Recyclage partiel : une partie de l'air repris dans le local est rejeté, et il remplacé par de l'air neuf.
- Recyclage total : sans apport d'air neuf, le traitement de l'air se fait seulement sur l'air repris.
- Tout air neuf : Ici la centrale fonctionne tout air neuf.

Exemple de configuration :



- Calcul des installations du traitement d'air

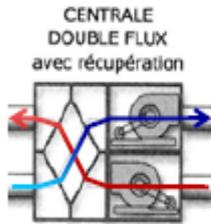
- Concrètement dans une centrale de traitement d'air (CTA)



- Air humide, Refroidissement et Récupération de chaleur

(Échangeurs à courants croisés)

• Récupérateur de chaleur dans une CTA - 1



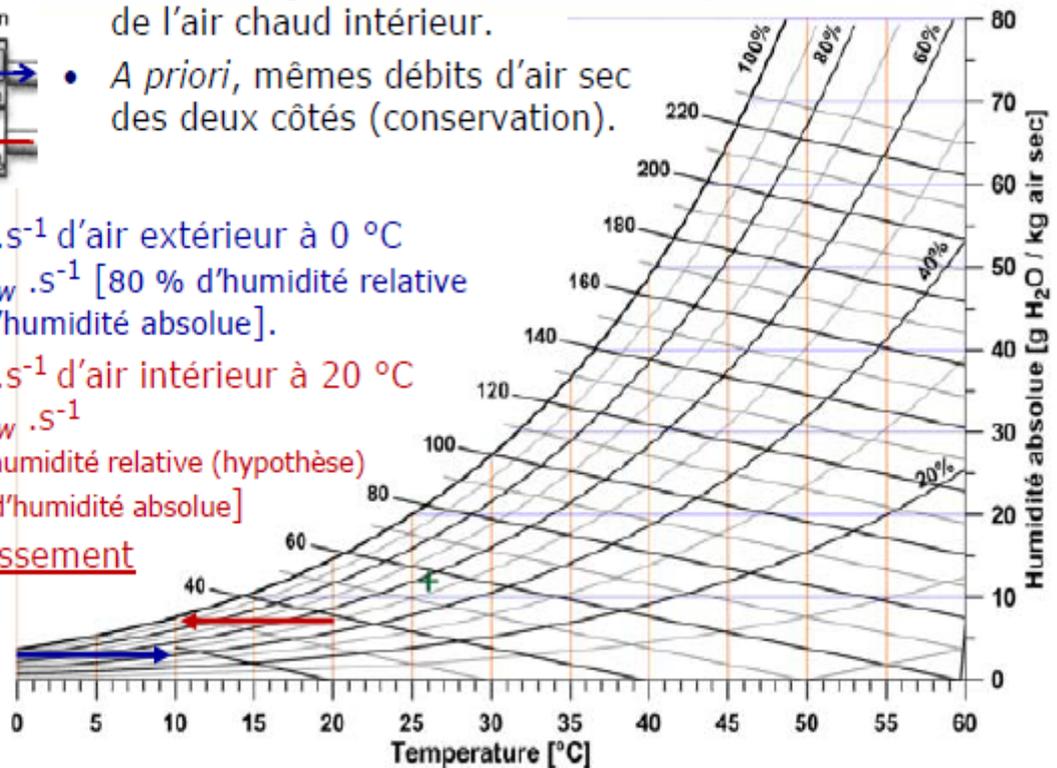
• Préchauffage de l'air froid extérieur par de l'air chaud intérieur.

• *A priori*, mêmes débits d'air sec des deux côtés (conservation).

• 260  $g_{as} \cdot s^{-1}$  d'air extérieur à 0 °C  
+ 0,8  $g_w \cdot s^{-1}$  [80 % d'humidité relative  
3 g/kg d'humidité absolue].

• 260  $g_{as} \cdot s^{-1}$  d'air intérieur à 20 °C  
+ 1,9  $g_w \cdot s^{-1}$   
[50 % d'humidité relative (hypothèse)  
7,3 g/kg d'humidité absolue]

• Refroidissement

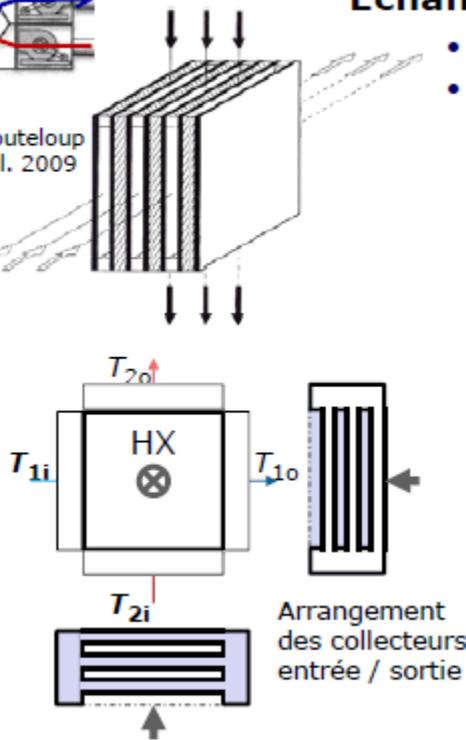


• Récupérateur de chaleur dans une CTA – 2  
Échangeur à courants-croisés

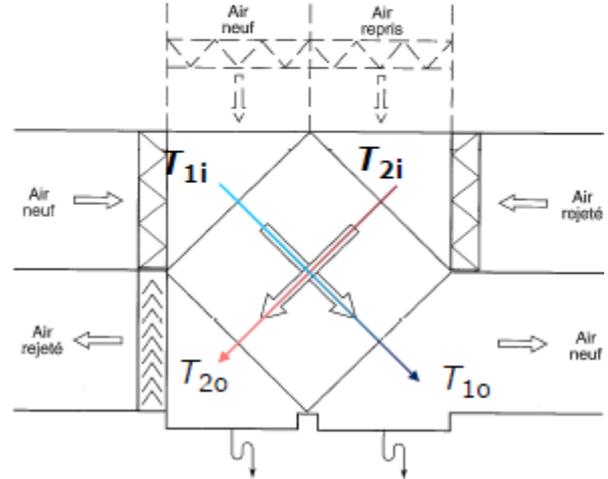


## Récupérateur de chaleur dans une CTA – 2 Échangeur à courants-croisés

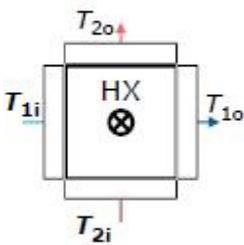
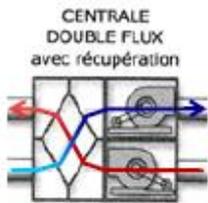
J. Bouteloup  
et al. 2009



- A priori, mêmes débits d'air des deux côtés.
- Avantages :
  - Disposition favorable à l'implantation des collecteurs
  - Intégration facile dans une VMC Double-Flux



### • Récupérateur de chaleur dans une CTA – 3 Échangeur à courants-croisés



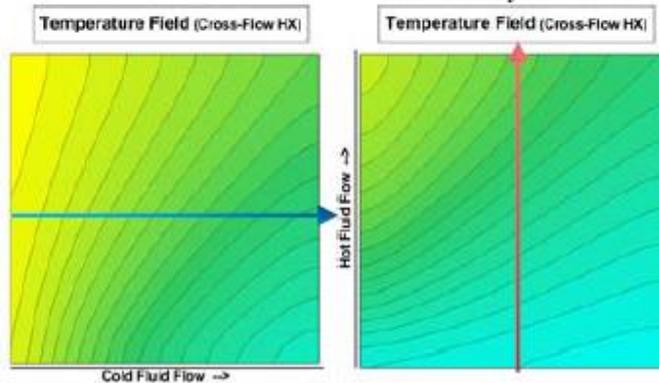
- **Solution numérique**, ici avec eqns simplifiées :  
Fluides monophasiques définis par  $\rho$  et  $c_p$  : .....  $dh = c_p dT$   
vitesse  $u$  dans canal de hauteur  $\delta z$ , avec  $U =$  coefficient  
d'échange avec autre fluide circulant en direction transverse.

$$(\rho u \delta z)_1 \frac{dh_1}{dx} = U(T_2 - T_1) = -(\rho u \delta z)_2 \frac{dh_2}{dy}$$

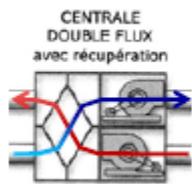
$$(\rho u \delta z c_p)_1 \frac{T_{1E} - T_{1W}}{2\Delta x} = U(T_2 - T_1) = -(\rho u \delta z c_p)_2 \frac{T_{2N} - T_{2S}}{2\Delta y}$$

Avec  $E, W, N, S =$  mailles voisines (est, ouest ...).  
C.L. : Température entrée ; adiabatique ailleurs.

Champs de température calculés dans les deux fluides :



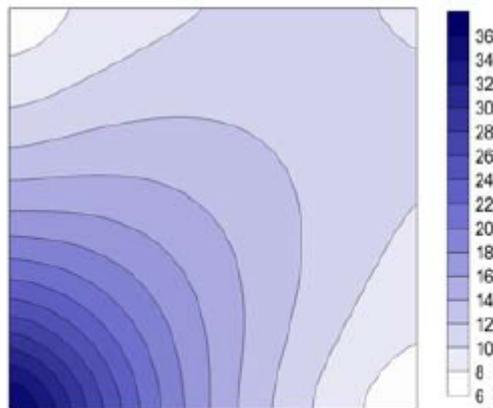
- Récupérateur de chaleur dans une CTA - 4



Bilan de l'échange à courants-croisés :

- Champ de densité de flux échangé  $U(T_2-T_1)$  :  
(noter la zone de flux max sur diagonale)

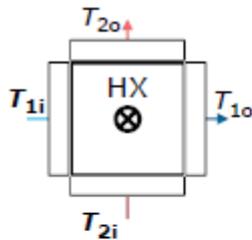
Heat Flux Density (Cross-Flow HX)



(calculs pour  $260 \text{ g}_{\text{as}} \cdot \text{s}^{-1}$   
et  $UA = 31,2 \text{ W/K}$ )

**Bilan d'énergie**

Fluide 1 : chauffage  
de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  à  $12,9 \text{ }^\circ\text{C}$   
(sortie entre  $8,2$  &  $18$ ),  
soit  
puissance échangée **3,4 kW**,  
et efficacité de **65 %**.



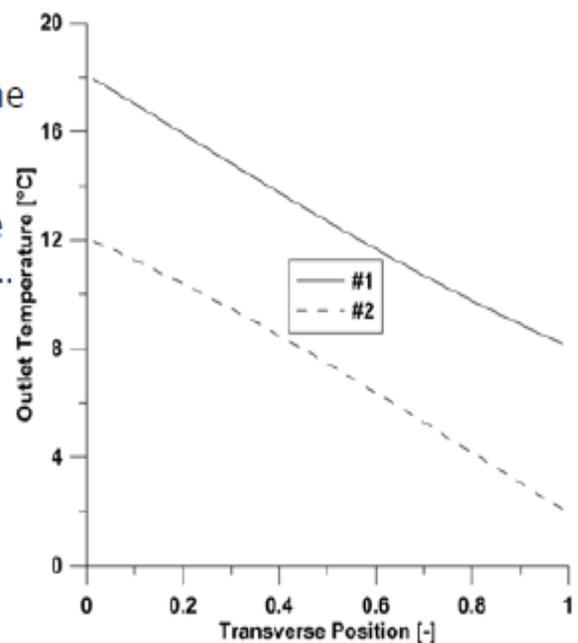
- Mélange de flux d'air humide

- La température de l'air neuf (#1) à la sortie de l'échangeur n'est pas uniforme (courbe #1 ci-contre).
- L'ensemble du flux #1 est mélangé, ce qui donne une température moyenne ...

- Le calcul rigoureux de l'état du mélange calcule l'**enthalpie moyenne** :

$$\langle h_{1o} \rangle = \frac{\int h_1(x=L_x, y) \cdot dm_1}{\int dm_1}$$

- Ici on a :  $\langle T_{1o} \rangle = 12,9^\circ\text{C}$



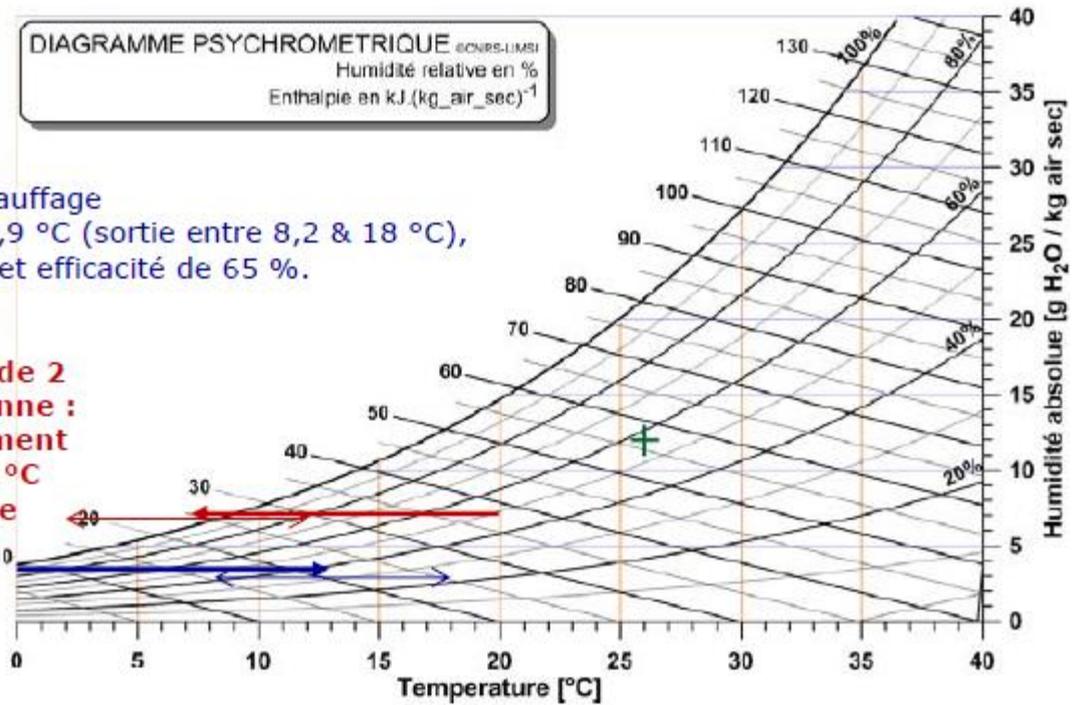
- Air humide, récupération de chaleur et condensation :
  - Récupérateur de chaleur dans une CTA - 5



DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE ©CNRS-LIMS1  
Humidité relative en %  
Enthalpie en kJ.(kg\_air\_sec)<sup>-1</sup>

Fluide 1 : chauffage  
de 0 °C à 12,9 °C (sortie entre 8,2 & 18 °C),  
soit 3,4 kW, et efficacité de 65 %.

Pour le Fluide 2  
le calcul donne :  
refroidissement  
de 20 à 7,2 °C  
(sortie entre  
2 & 12 °C) :



- Refroidissement avec condensation

- Dans le domaine air humide seul, chaleur sensible uniquement :  $dh = (c_{pa} \cdot + x_w \cdot c_{pv}) \cdot dT$

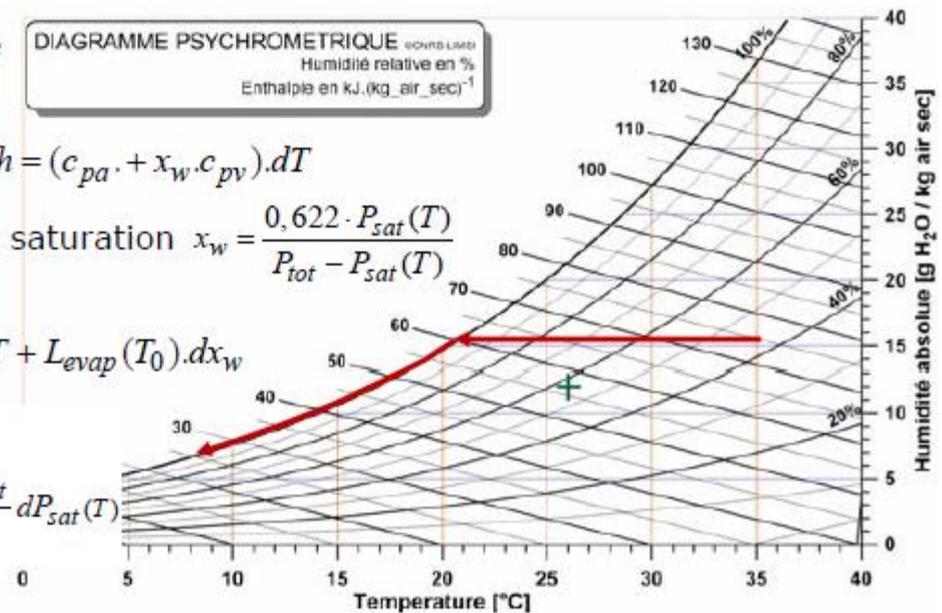
- Sur la courbe de saturation  $x_w = \frac{0,622 \cdot P_{sat}(T)}{P_{tot} - P_{sat}(T)}$   
 $dx_w/dT > 0$ .

$$dh = (c_{pa} \cdot + x_w \cdot c_{pv}) \cdot dT + L_{evap}(T_0) \cdot dx_w$$

$$dh = (c_{pa} \cdot + x_w \cdot c_{pv}) \cdot dT + \frac{L_{evap}(T_0) \cdot 0,622 \cdot P_{tot}}{(P_{tot} - P_{sat}(T))^2} dP_{sat}(T)$$

$$dP_{sat}(T) = \frac{P_{sat}(T)}{T^2} \left( 3611 + \frac{506140}{T} \right) dT$$

DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE ©CNRS-LIMS1  
Humidité relative en %  
Enthalpie en kJ.(kg\_air\_sec)<sup>-1</sup>



- Équations non-linéaires : résolution itérative

- Récupérateur de chaleur dans une CTA - 6

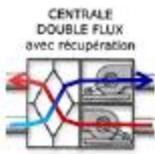
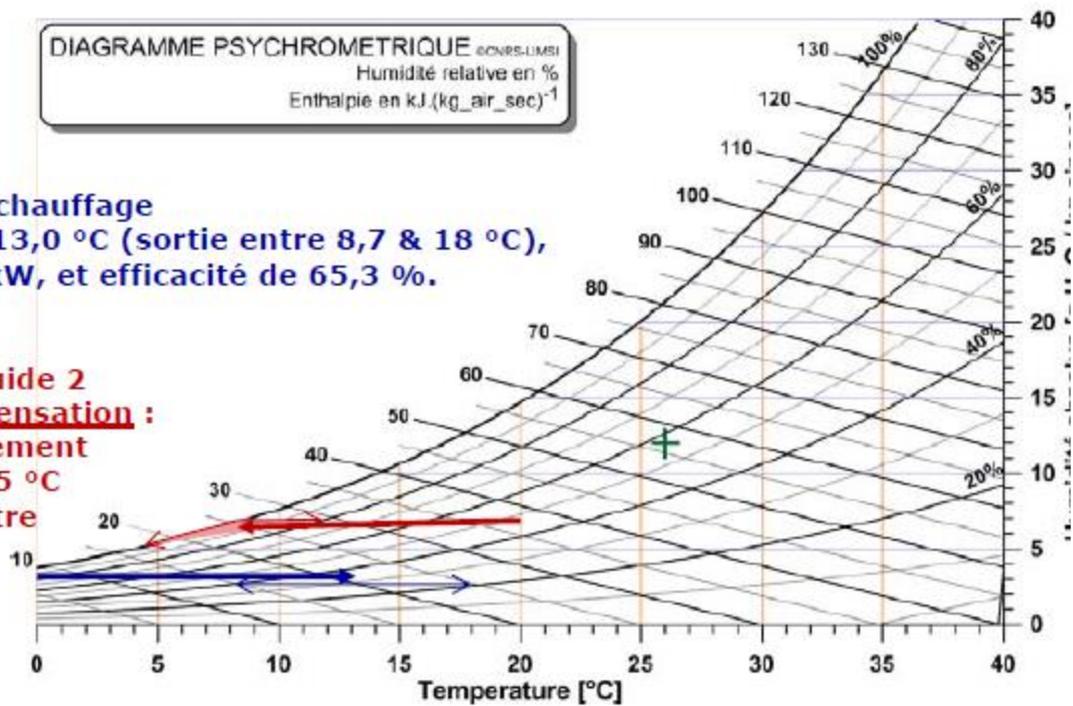


DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE © CNRS-LIMSI  
Humidité relative en %  
Enthalpie en  $\text{kJ} \cdot (\text{kg}_{\text{air}} \cdot \text{sec})^{-1}$

**Fluide 1 : chauffage**  
de 0 °C à 13,0 °C (sortie entre 8,7 & 18 °C),  
soit 3,43 kW, et efficacité de 65,3 %.

**Pour le Fluide 2**  
**avec condensation** :  
**refroidissement**  
de 20 à 7,5 °C  
(sortie entre  
4,3 et  
12,2 °C)



- Bilan d'enthalpie avec condensation

- À l'entrée : flux d'air #2 ( $2i$ )  $h_{2i} = (c_{pa} + x_{w2i} \cdot c_{pv}) \cdot (T_{2i} - T_0) + x_{w2i} \cdot L_0$
- À la sortie : 1° flux d'air #2 ( $2o$ )  $h_{2o}' = (c_{pa} + x_{w2o} \cdot c_{pv}) \cdot (T_{2o} - T_0) + x_{w2o} \cdot L_0$
- + 2° eau liquide  $(x_{wi} - x_{wo}) [c_{pl} = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] + c_{pl} \cdot (x_{wi} - x_{wo}) \cdot (T_{2o} - T_0)$
- Flux de chaleur échangé =  $(h_{2i} - h_{2o}')$   
Variation d'enthalpie de l'air humide =  $(h_{2i} - h_{2o})$
- Écart relatif =  $\frac{h_{2o}' - h_{2o}}{h_{2i} - h_{2o}'}$
- Exemple numérique. Soit de l'air humide (1 kg air sec),  
refroidi depuis [25 °C ; 100 % d'humidité ; 20.08 g.kg<sup>-1</sup> vapeur eau]  
jusqu'à [15 °C ; 100 % d'humidité ; 10.63 g.kg<sup>-1</sup> vapeur eau].  
Calculs développés sur transparent suivant ->

- Calcul exact et approximation

- Air saturé à 25 C :  $h = 76.30$  kJ. Air saturé à 15 C :  $h = 41.97$  kJ
- + 9.45 g (20.08-10.63) d'eau liquide à 15  C :  $h = 0.59$  kJ.

- $\Delta h_{\text{effectif}} = (h_{2i} - h_{2o}') = 76.30 - 41.97 - 0.59 = 33.74$  kJ ;  
 $\Delta h_{\text{as}} = (h_{2i} - h_{2o}) = 76.30 - 41.97 = 34.33$  kJ  
Soit un écart < 2 % !

- Quelle erreur commet-on sur l'état final de l'air si le  $\Delta h_{\text{effectif}}$  est appliqué intégralement à l'air sec ?
  - $h = 42.56$  kJ.kg<sup>-1</sup> = enthalpie de l'air saturé à 15.18  C (au lieu de 15).
  - L'erreur est donc minime.
- **En 1 re approximation, et si sa température reste limit e, l'enthalpie de l'eau liquide peut être n glig e dans les bilans.** Cette fonction *enthalpie* donne plus que l'enthalpie de l'air humide.