

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

VENTILATION : CONCEPTION ET RÉGULATION

PRINTEMPS 2022

Climatisation via le système de ventilation



- ▶ Présenter les enjeux et les limites du chauffage et du refroidissement par l'air
- ▶ Présenter les changements hygrothermiques de l'air
- ▶ Aborder le concept de la diffusion d'air
- ▶ Présenter quelques systèmes « alternatifs » de production de froid



INTRODUCTION

- ▶ **L'air comme vecteur de climatisation**
- ▶ Température et hygrométrie de l'air

CLIMATISATION DE L'AIR

DIFFUSION DE L'AIR

PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »



L'air introduit par la ventilation peut être utilisé comme vecteur

- ▶ Pour chauffer ou refroidir
- ▶ Pour humidifier ou déshumidifier

Applications pertinentes

- ▶ Tertiaire (commerces, hôtels, bureaux en open-space...)
- ▶ Enseignement (amphithéâtres, salles de classe...)
- ▶ Infrastructures sportives
- ▶ Industrie (stockage, usines...)
- ▶ Hôpitaux



Contraintes

- ▶ Espace disponible pour le groupe de pulsion et le réseau (encombrement non négligeable)
- ▶ Débit suffisamment élevé
- ▶ Volumétrie des locaux permettant une bonne diffusion de l'air

Avantages

- ▶ Pas d'équipement nécessaire dans les pièces
- ▶ Permet de regrouper les techniques

Inconvénients

- ▶ Dépendance de la ventilation hygiénique avec le traitement climatique

→ La faisabilité d'un système de chauffage et/ou refroidissement uniquement par l'air de ventilation doit tenir compte de ces données



INTRODUCTION

- ▶ L'air comme vecteur de climatisation
- ▶ **Température et hygrométrie de l'air**

CLIMATISATION DE L'AIR

DIFFUSION DE L'AIR

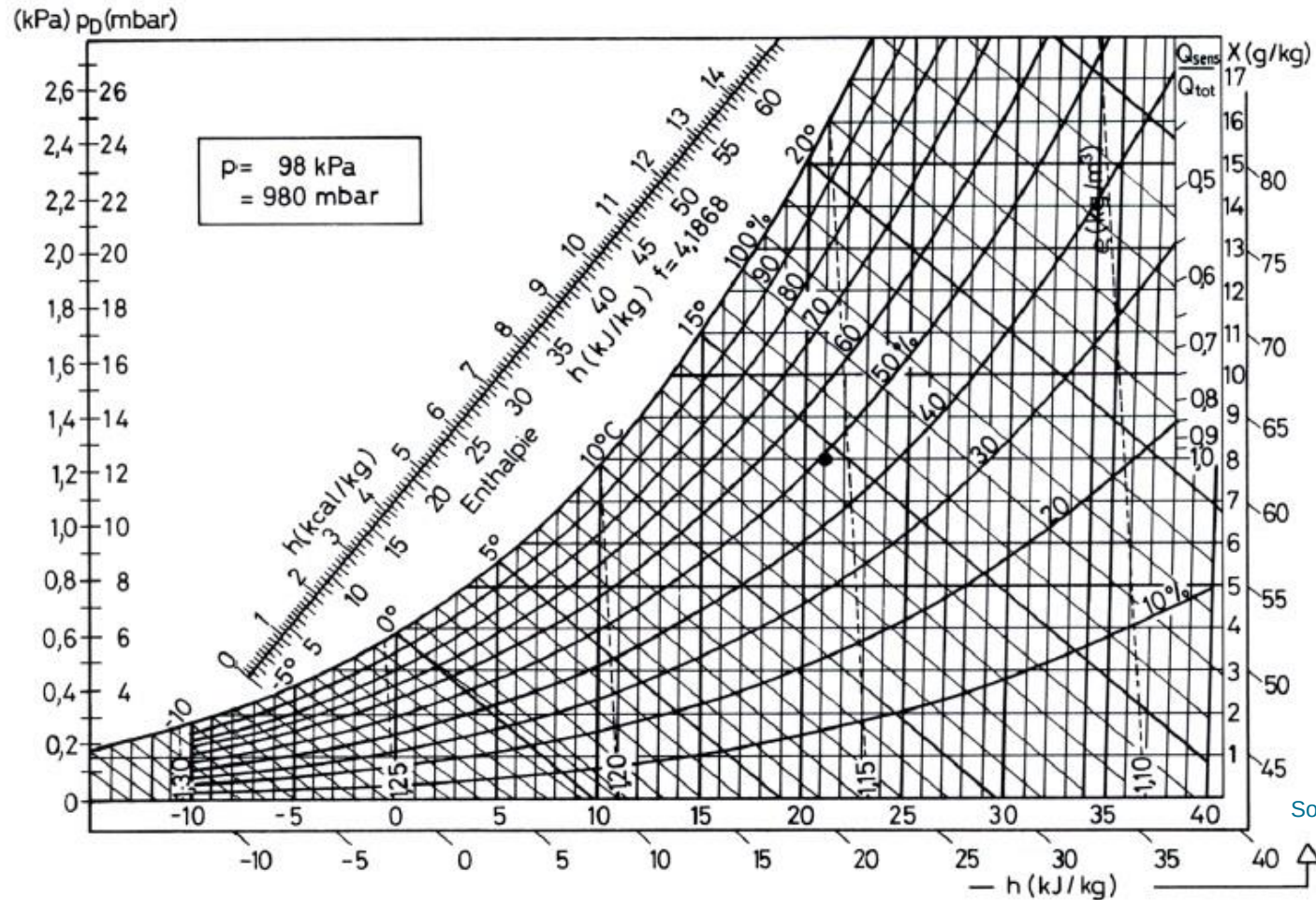
PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »



TEMPÉRATURE ET HYGROMÉTRIE DE L'AIR

Diagramme psychrométrique de l'air humide

- Permet de déterminer les caractéristiques de l'air

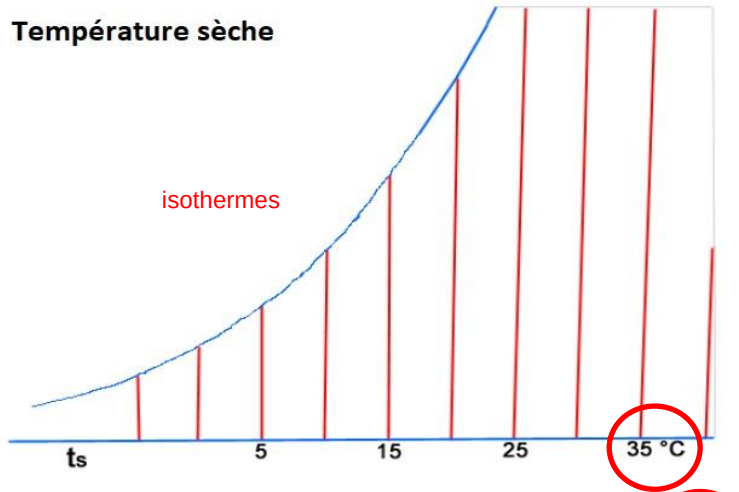


Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza

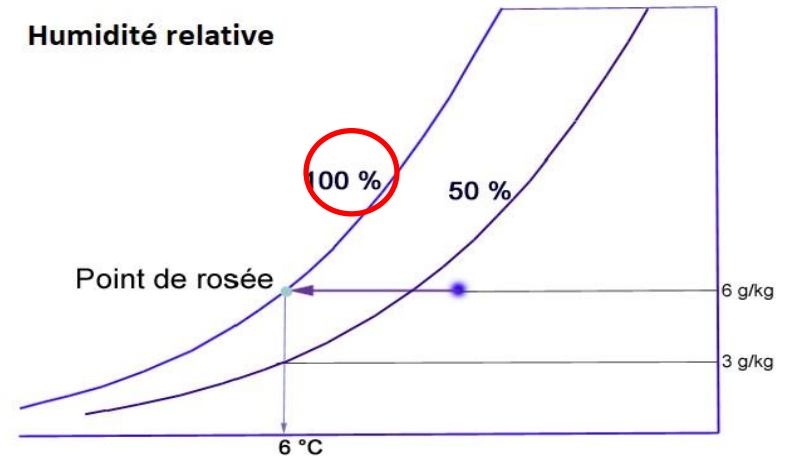


TEMPÉRATURE ET HYGROMÉTRIE DE L'AIR

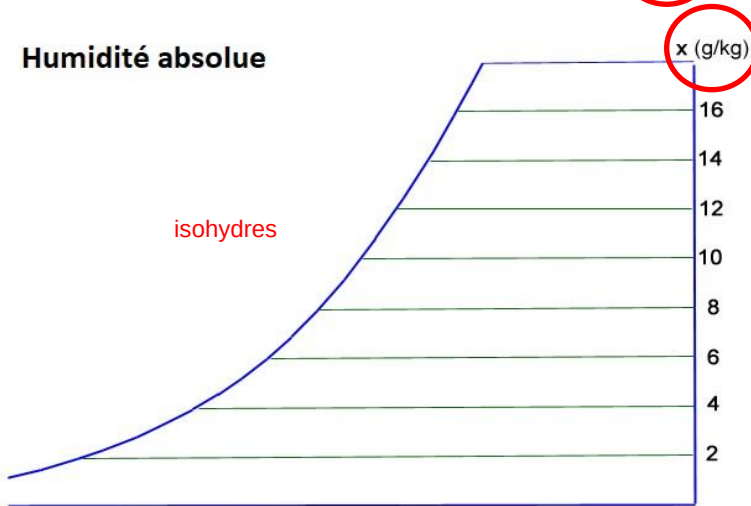
Température sèche



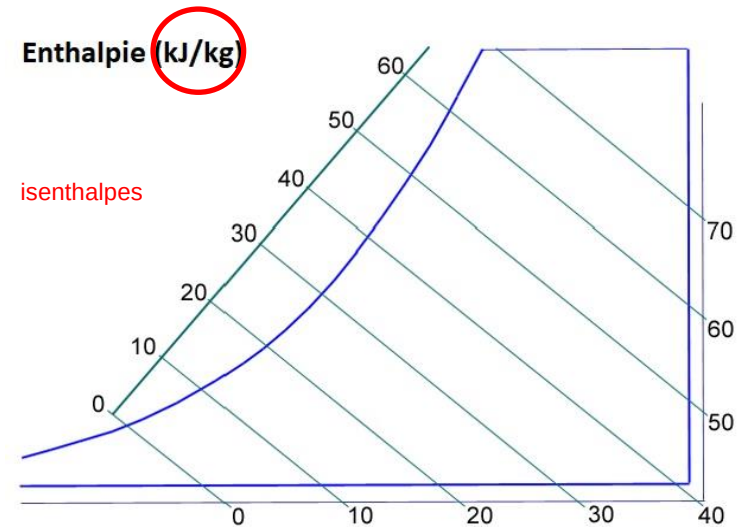
Humidité relative



Humidité absolue



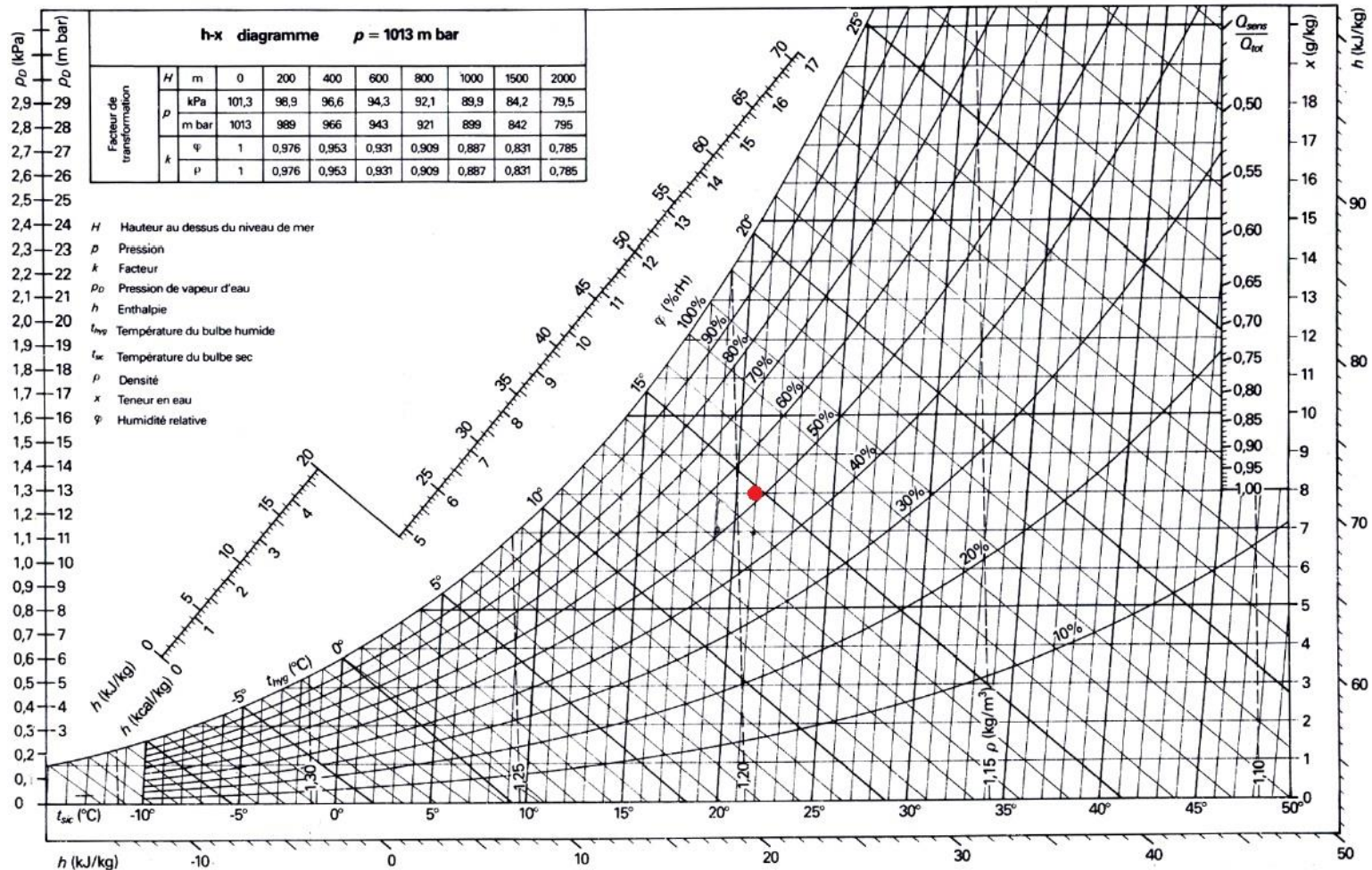
Enthalpie (kJ/kg)



Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza



TEMPÉRATURE ET HYGROMÉTRIE DE L'AIR



Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza



10 TEMPÉRATURE ET HYGROMÉTRIE DE L'AIR

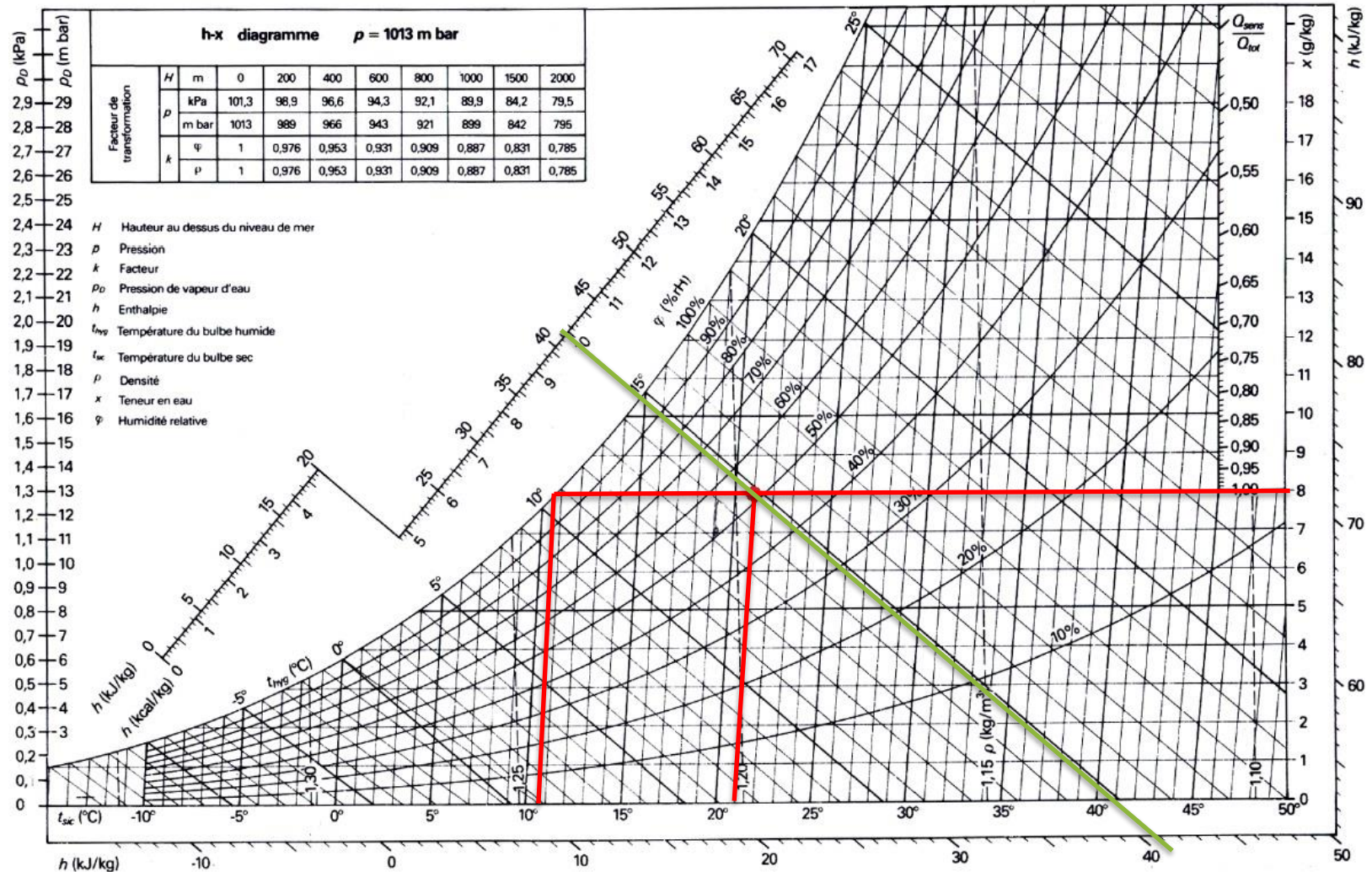


Complétez le tableau en utilisant le diagramme précédent

Désignation	Symbole	Unité	Point
Température de bulbe sec	t_s	°C	
Humidité absolue	x	g/kg	
Température de rosée	t_r	°C	
Humidité relative	φ	%	
Enthalpie	h	kJ/kg	
Température de bulbe humide	T_h	°C	
Masse volumique	ρ		



11 TEMPÉRATURE ET HYGROMÉTRIE DE L'AIR



Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza



12 TEMPÉRATURE ET HYGROMÉTRIE DE L'AIR



Complétez le tableau en utilisant le diagramme précédent

Désignation	Symbole	Unité	Point
Température de bulbe sec	ts	°C	21
Humidité absolue	x	g/kg	8
Température de rosée	tr	°C	10.7
Humidité relative	φ	%	52
Enthalpie	h	kJ/kg	41
Température de bulbe humide	Th	°C	14.9
Masse volumique	ρ		1.19



INTRODUCTION

CLIMATISATION DE L'AIR

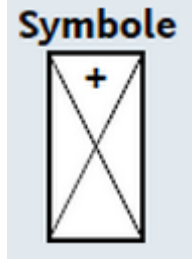
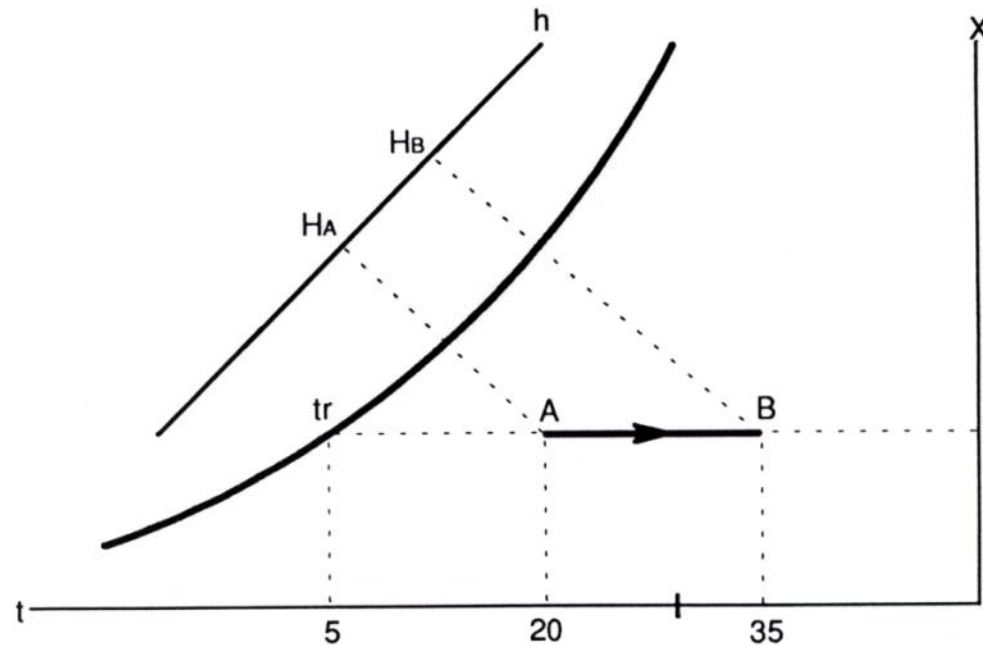
- ▶ **Chauffage**
- ▶ Refroidissement
- ▶ Humidification
- ▶ Déshumidification
- ▶ Mélange

DIFFUSION DE L'AIR

PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »



Evolution de l'air : chauffage



Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza

- ▶ Le **chauffage** est représenté sur le diagramme psychrométrique par une horizontale entre les points **A** et **B**.
- ▶ On remarque que lorsque la température sèche t augmente :
 - la température de rosée tr reste constante
 - l'humidité absolue x reste constante

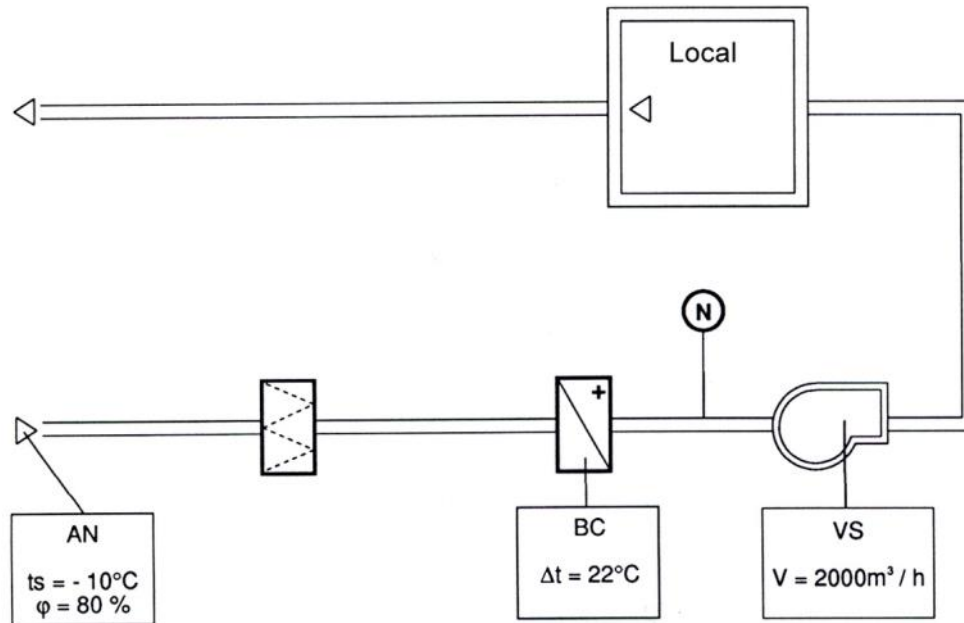


HR diminue et c'est le problème





Quelle puissance peut-on véhiculer par la ventilation ?



$$\begin{aligned} \text{Puissance de chauffage [W]} \\ = \\ 0,34 \times \text{Débit} \times \Delta T \\ \text{[W/(m}^3\text{/h).K]} \quad \text{[m}^3\text{/h]} \quad \text{[°K]} \end{aligned}$$

Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza

- Dans cette installation de ventilation 2 000 m³/h d'air sont chauffés à l'aide de la batterie BC. Il s'agit de déterminer :

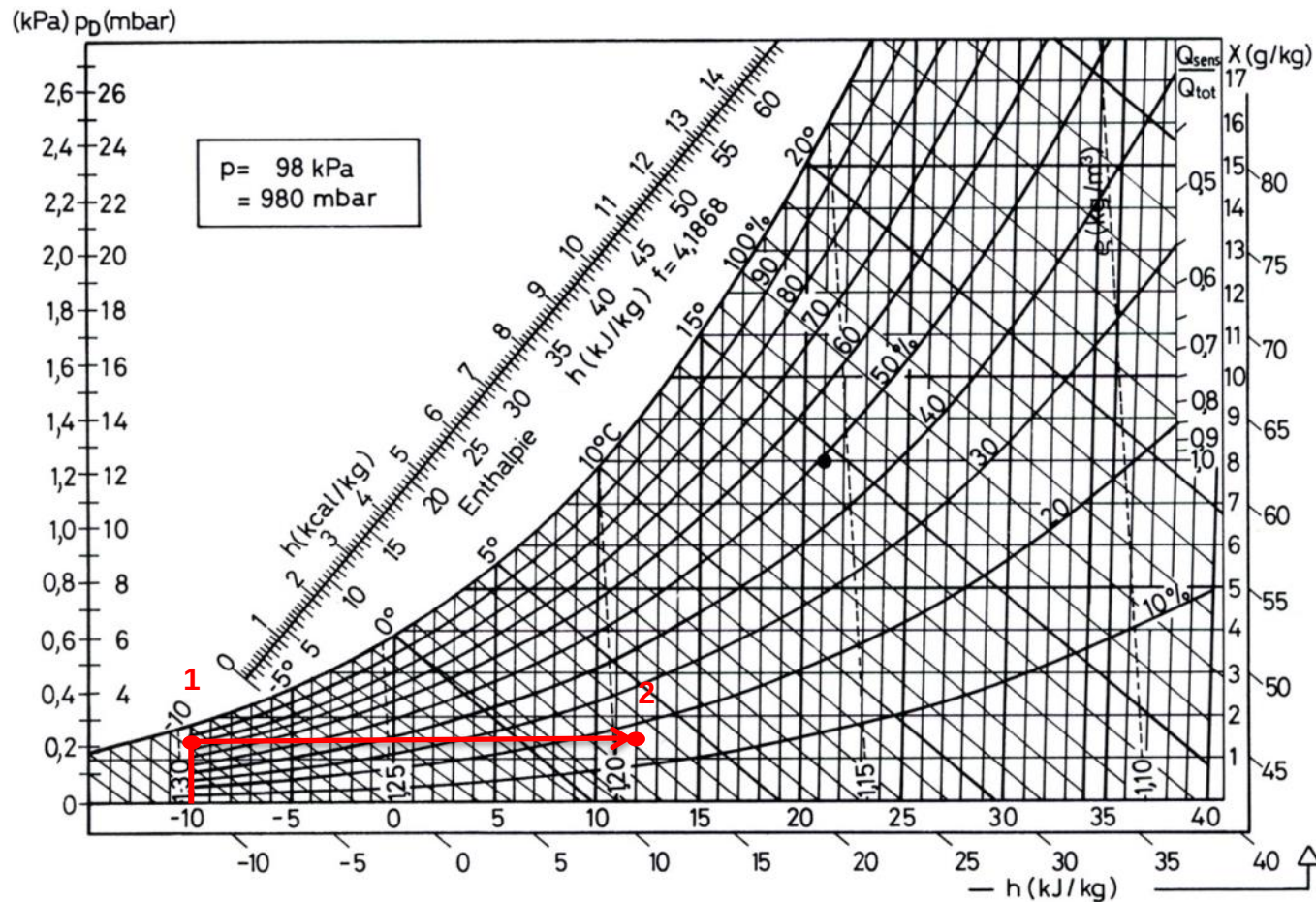
- 1 - Les caractéristiques du point N à la sortie de la batterie BC
- 2 - La puissance de la batterie BC





Quelle puissance peut-on véhiculer par la ventilation ?

- 1 - Les caractéristiques du point N à la sortie de la batterie BC



$t_{s1} = -10^\circ\text{C}$
 $\Phi_1 = 80\%$
 $\Delta t = 22^\circ\text{C}$
 $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$

$t_{s2} = ?$
 $\Phi_2 = ?$





Quelle puissance peut-on véhiculer par la ventilation ?

- 2 – La puissance de la batterie BC

$$\begin{aligned}t_{s1} &= -10^{\circ}\text{C} \\ \Phi_1 &= 80 \% \\ \Delta t &= 22^{\circ}\text{C} \\ Q &= 2000 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{s2} &= 12^{\circ}\text{C} \\ \Phi_2 &= 17 \% !!!!\end{aligned}$$

$$P = 0,34 * Q * \Delta T$$

$$= 0,34 * 2000 * 22 = \mathbf{15 \text{ kW}}$$

$$\text{SI : } \Delta t = 45^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned}t_{s2'} &= 35^{\circ}\text{C} \\ \Phi_{2'} &= 4 \% !!!\end{aligned}$$

$$P = 0,34 * 2000 * 45 = \mathbf{30,6 \text{ kW}}$$



INTRODUCTION

CLIMATISATION DE L'AIR

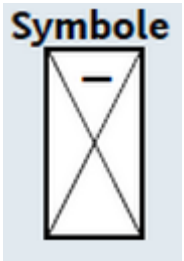
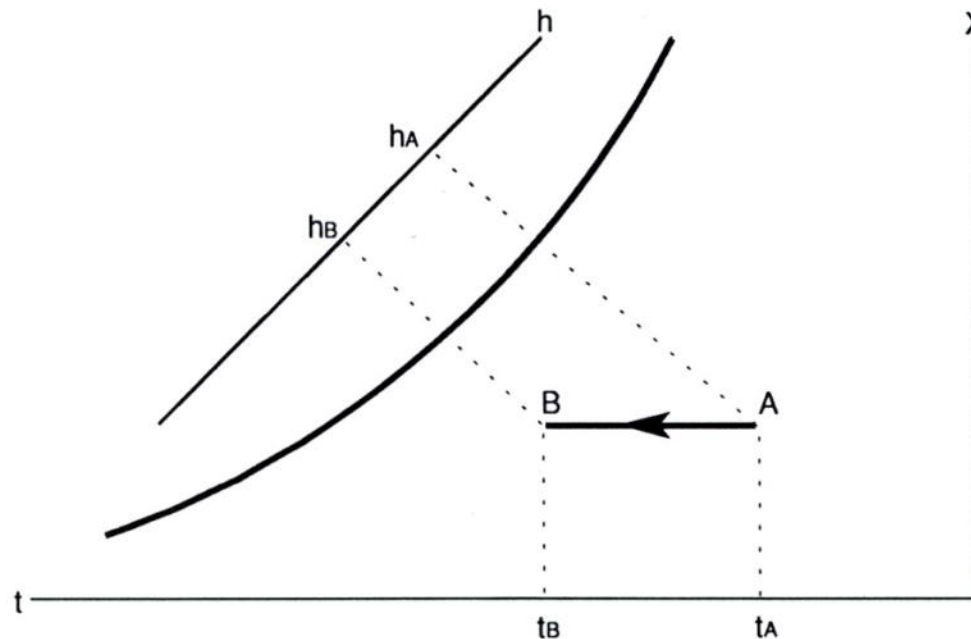
- Chauffage
- **Refroidissement**
- Humidification
- Déshumidification
- Mélange

DIFFUSION DE L'AIR

PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »



Evolution de l'air : refroidissement « sec » (sans condensation)



Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza

La température de surface de la batterie froide reste supérieure à la température de rosée de l'air avant passage sur la batterie froide

- Cette chaleur enlevée à l'air est dite sensible.
- Il n'y a pas de condensation de la vapeur d'eau de l'air.
Ce refroidissement de la vapeur d'eau sans changement d'état est dit sensible ou « sec ».



INTRODUCTION

CLIMATISATION DE L'AIR

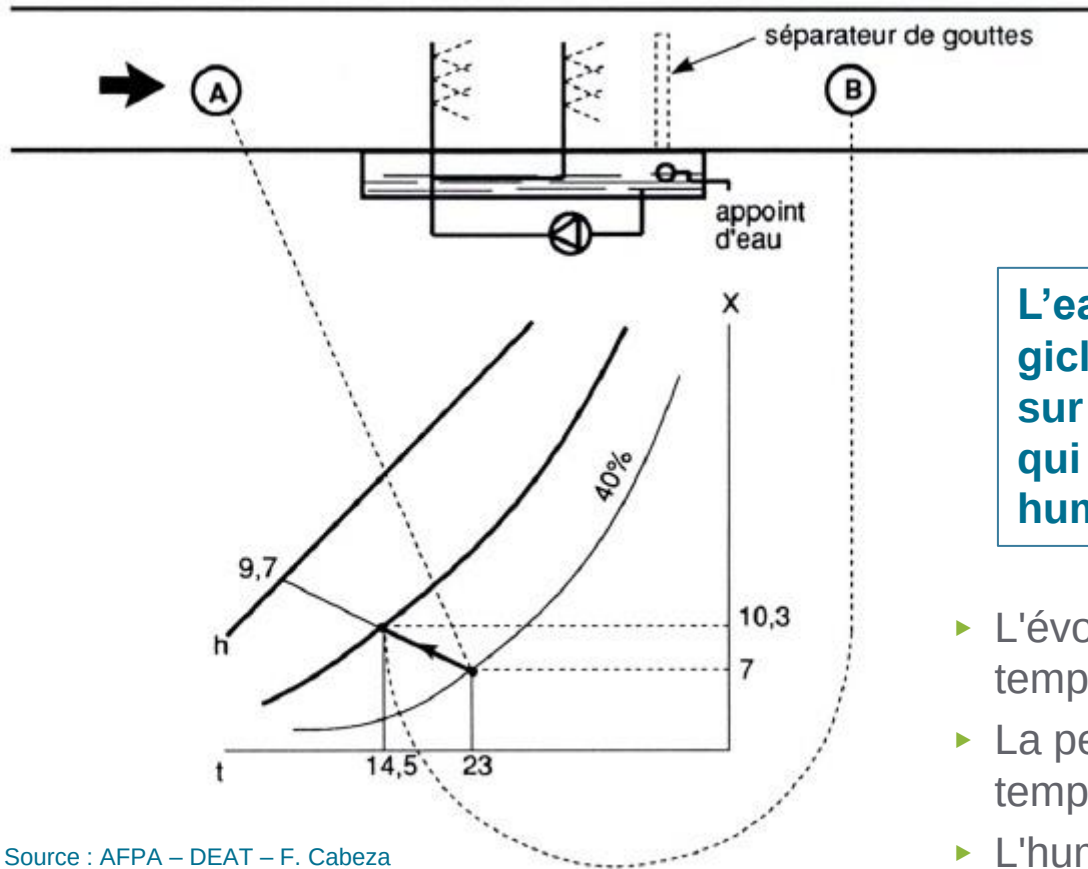
- Chauffage
- Refroidissement
- **Humidification**
- Déshumidification
- Mélange

DIFFUSION DE L'AIR

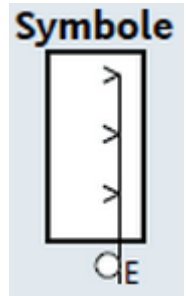
PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »



Evolution de l'air – Humidification adiabatique



Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza

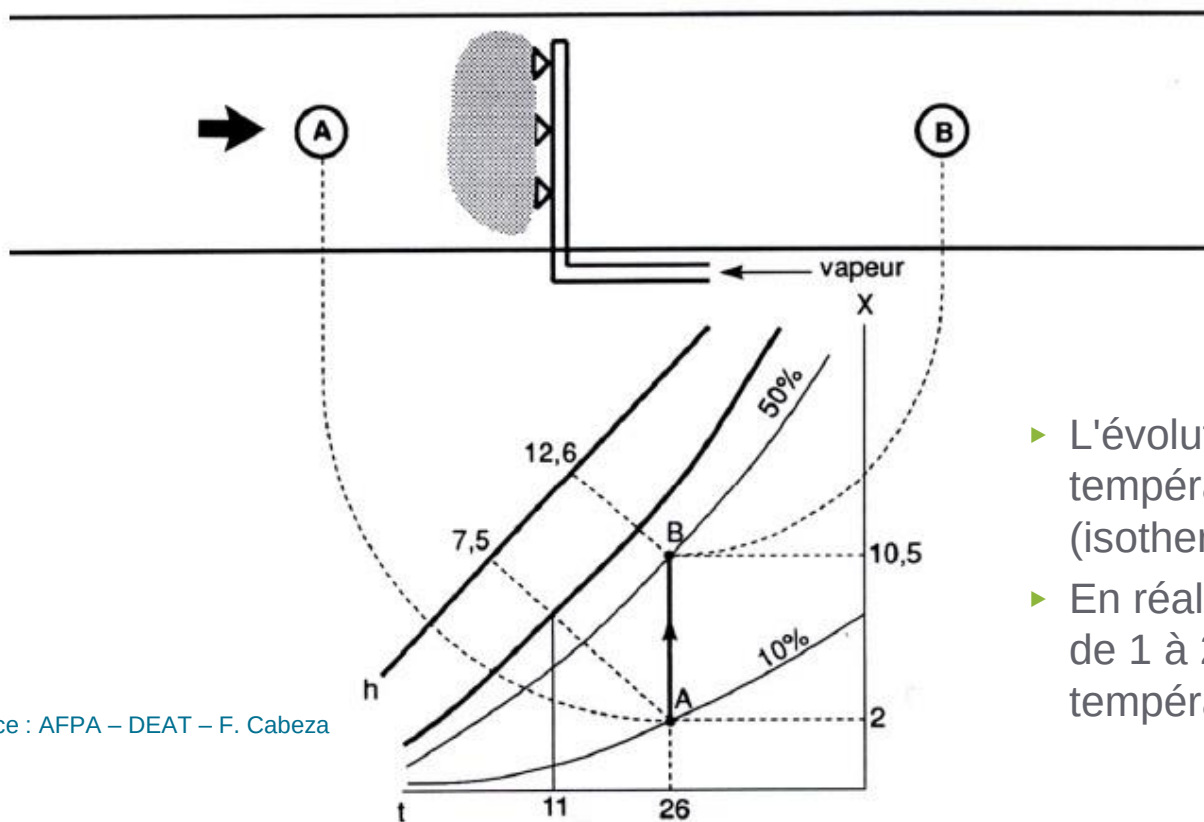
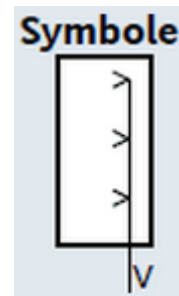


L'eau est pulvérisée par des gicleurs dans le courant d'air ou sur une surface de ruissellement qui permettra une meilleure humidification de l'air.

- L'évolution de l'air se fait théoriquement à température de bulbe humide constante.
- La pente de l'évolution dépendra de la température de l'eau pulvérisée.
- L'humidificateur ne permet pas de saturer l'air. Il faudrait une "surface d'échange infinie"



Evolution de l'air – Humidification à la vapeur



Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza

- L'évolution théorique [AB] se fait à température sèche constante (isotherme).
- En réalité, la température augmente de 1 à 2 °C suivant le cas et la température de la vapeur.

Dans le cadre d'un avant projet, on considérera l'évolution comme isotherme



INTRODUCTION

CLIMATISATION DE L'AIR

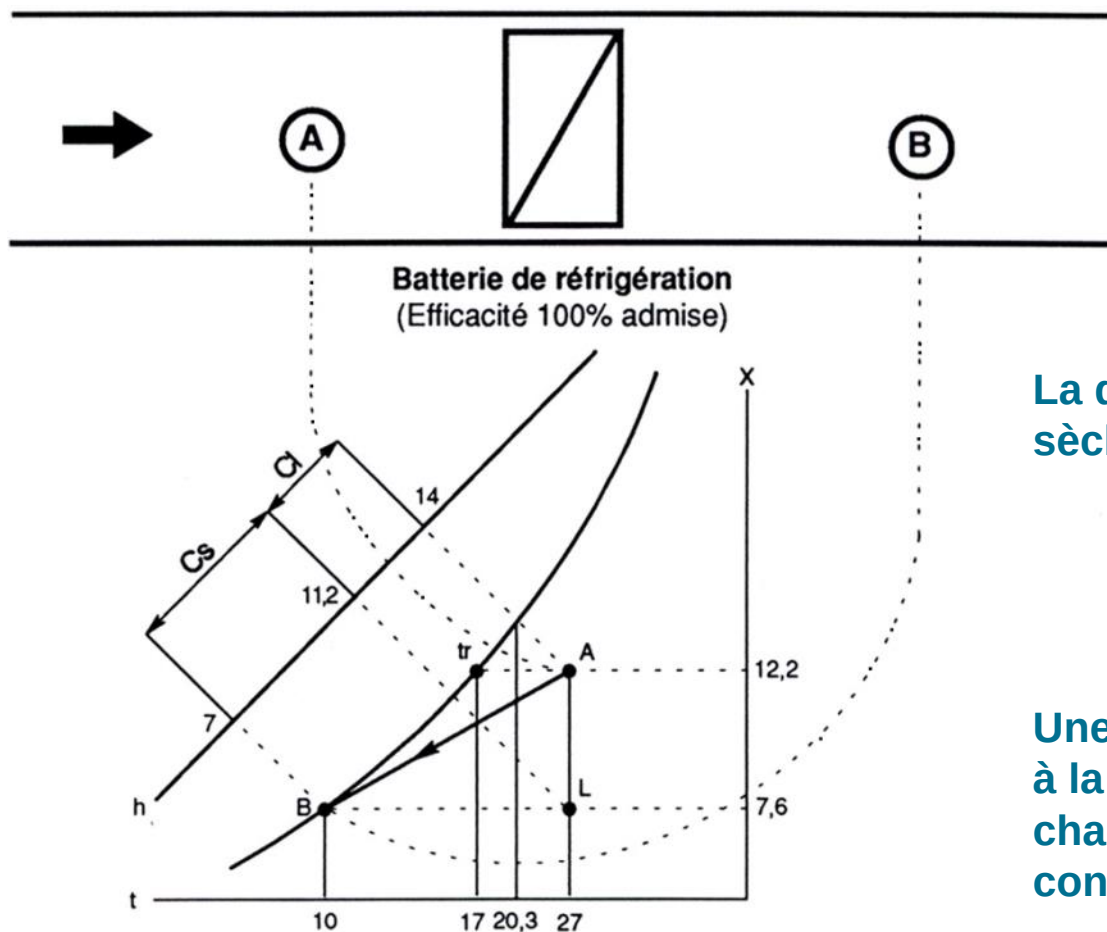
- Chauffage
- Refroidissement
- Humidification
- **Déshumidification**
- Mélange

DIFFUSION DE L'AIR

PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »



Evolution de l'air - Refroidissement et déshumidification de l'air



Batterie de réfrigération
(Efficacité 100% admise)

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



La diminution de la 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.

Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza



INTRODUCTION

CLIMATISATION DE L'AIR

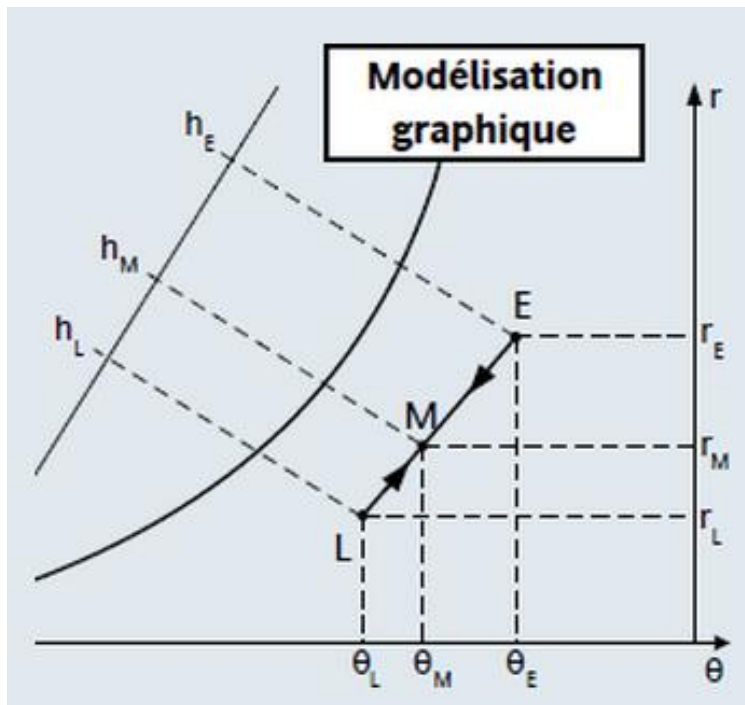
- Chauffage
- Refroidissement
- Humidification
- Déshumidification
- **Mélange**

DIFFUSION DE L'AIR

PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »

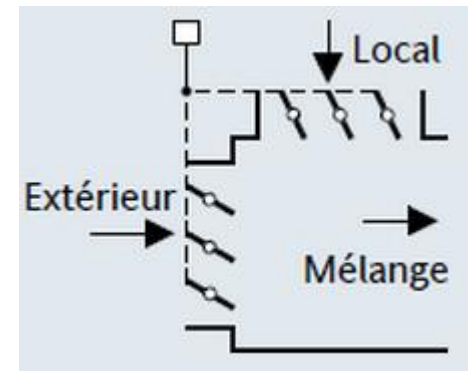


Evolution de l'air – Mélange de masses d'air



Source : www.dimclim.fr

Le point de mélange M se trouve sur une droite reliant les 2 points.
La position étant relative aux débits **massiques**.



En appliquant la loi des mélanges, on a :

- ▶ $h_M = (qm_E \cdot h_E + qm_L \cdot h_L) / (qm_E + qm_L)$
- ▶ $r_M = (qm_E \cdot r_E + qm_L \cdot r_L) / (qm_E + qm_L)$
- ▶ $\theta_M = (qm_E \cdot \theta_E + qm_L \cdot \theta_L) / (qm_E + qm_L)$



INTRODUCTION

CLIMATISATION DE L'AIR

DIFFUSION DE L'AIR

- ▶ **Zone de confort**

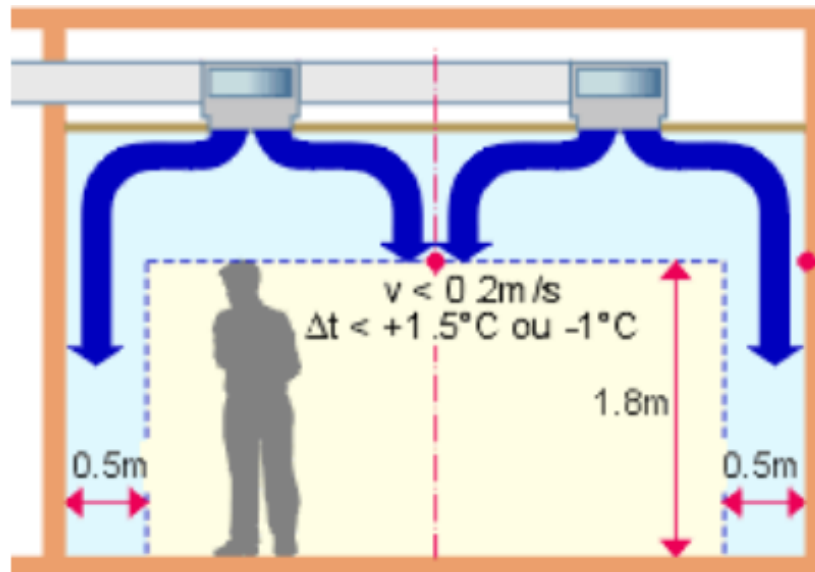
- ▶ Diffusion par mélange
- ▶ Diffusion par déplacement d'air

PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »



La vitesse résiduelle en zone d'occupation

- ▶ La diffusion de l'air de chauffage ou de refroidissement ne doit pas engendrée de gêne dans la zone d'occupation
- ▶ La zone d'occupation est représentée par la surface du local de laquelle on soustrait **une bande de 50 à 100 cm le long des murs**
- ▶ La hauteur de la zone d'occupation est de **1,8 m**
- ▶ Dans cette zone, la vitesse de l'air doit être inférieure à **0,2 m/s**
- ▶ Le long des murs, la vitesse doit rester inférieur à **0,4 m/s**



La différence de température entre l'air pulsé dans la zone d'occupation et l'air ambiant ne peut dépasser

- 1,5°C en chaud
- 1°C en froid

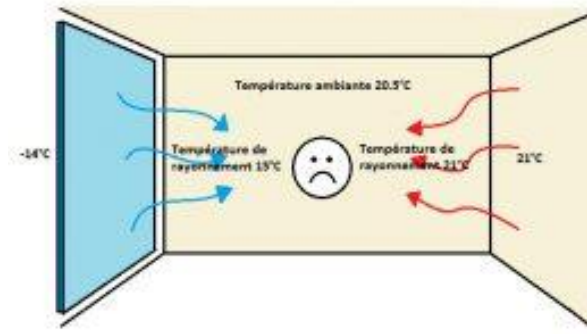
Source : www.energieplus-lesite.be





NBN EN ISO 7730 - Ergonomie des ambiances thermiques

- ▶ **Température opérative**
 - Été : 23/26 °C
 - Hiver : 20/24 °C
- ▶ **Différence verticale de température**
 - $< 2/3$ °C / m
- ▶ **Température surfacique du sol**
 - En général : 19/26 °C
 - Sol rayonnant : 19/29 °C
- ▶ **Asymétrie de rayonnement**
 - En général : $< 10^{\circ}\text{C}$
 - Plafond radiant : $< 5^{\circ}\text{C}$
- ▶ **Vitesse moyenne de l'air**
 - Été : $< 0,25$ m/s
 - Hiver : $< 0,15$ m/s



Source : www.heol.bzh



INTRODUCTION

CLIMATISATION DE L'AIR

DIFFUSION DE L'AIR

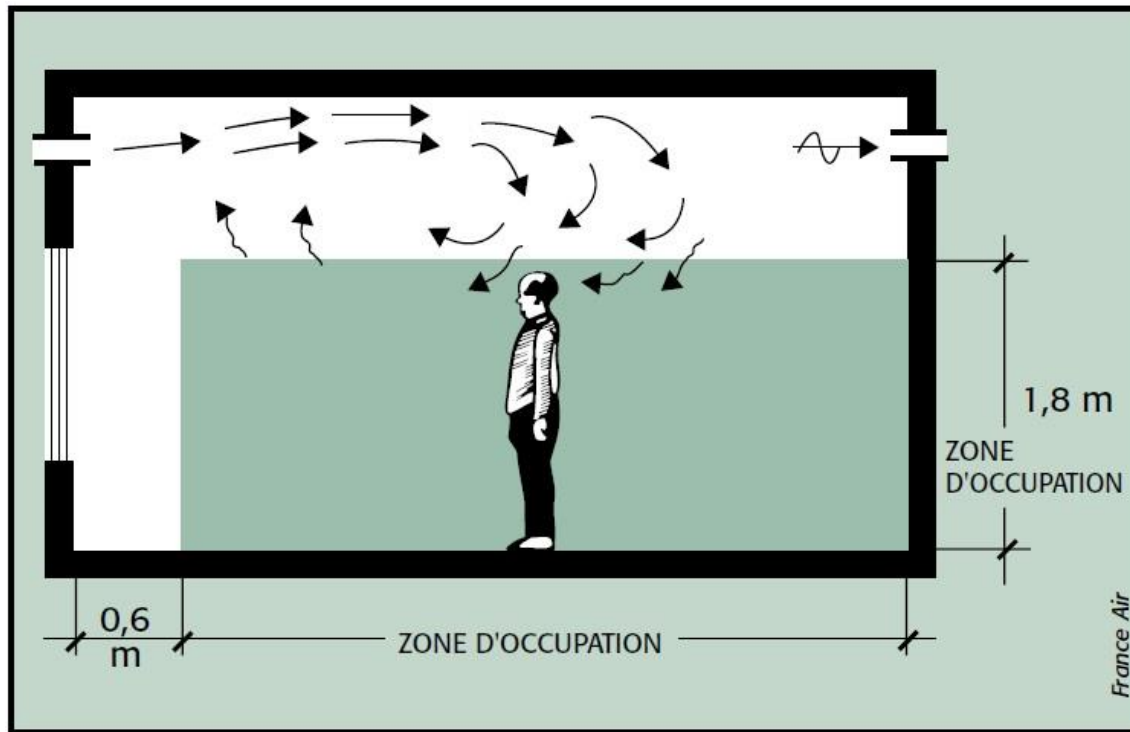
- Zone de confort
- **Diffusion par mélange**
- Diffusion par déplacement d'air

PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »



Le principe de la ventilation par mélange

- L'air est pulsé à une vitesse suffisante pour se mélanger avec l'air du local et atteindre la zone occupée



Source : France Air





Taux de brassage en chauffage par air

⇒ On retient : 2 à 5 vol/h



Taux de brassage en refroidissement par air

⇒ On retient : 5 à 8 vol/h

- Un taux de brassage de 5 vol/h permet d'assurer une bonne dispersion de la chaleur dans la pièce
 - Homogénéité en température
 - Empêche la stratification
 - Requiert un débit souvent plus élevé que le débit hygiénique

⇒ **Recyclage d'air/mélange**



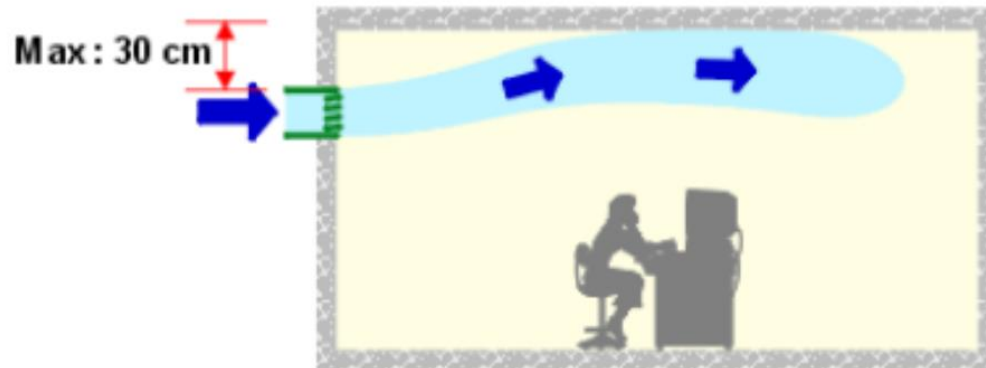
Les caractéristiques de la ventilation par mélange

- ▶ Stabilité de la veine d'air avec de faibles débits
- ▶ Brassage de l'air important
- ▶ Uniformité de température et de particules
- ▶ Flexibilité pour placer les diffuseurs



L'effet Coanda

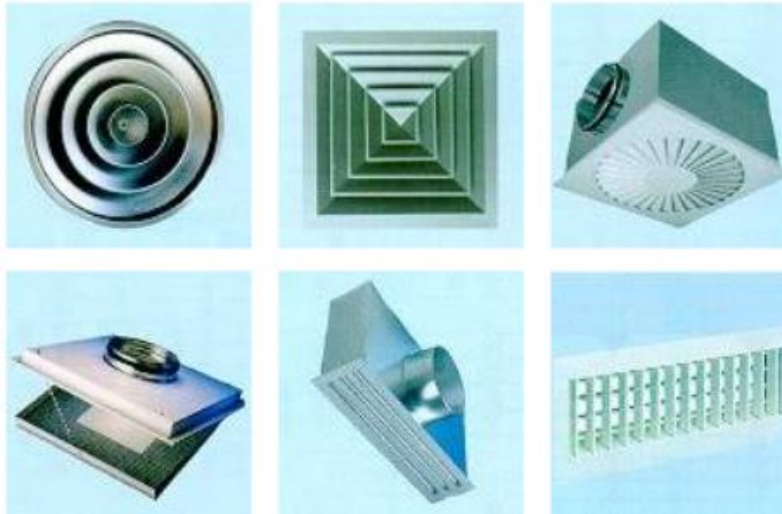
- ▶ La veine d'air se « colle » au plafond
- ▶ En refroidissement, permet à l'air de ne pas retomber trop vite
- ▶ A prendre en compte lors de la sélection du diffuseur



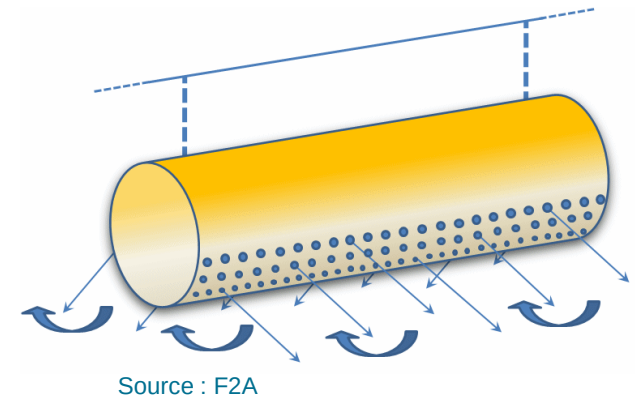
Source : www.energieplus-lesite.be



Les diffuseurs



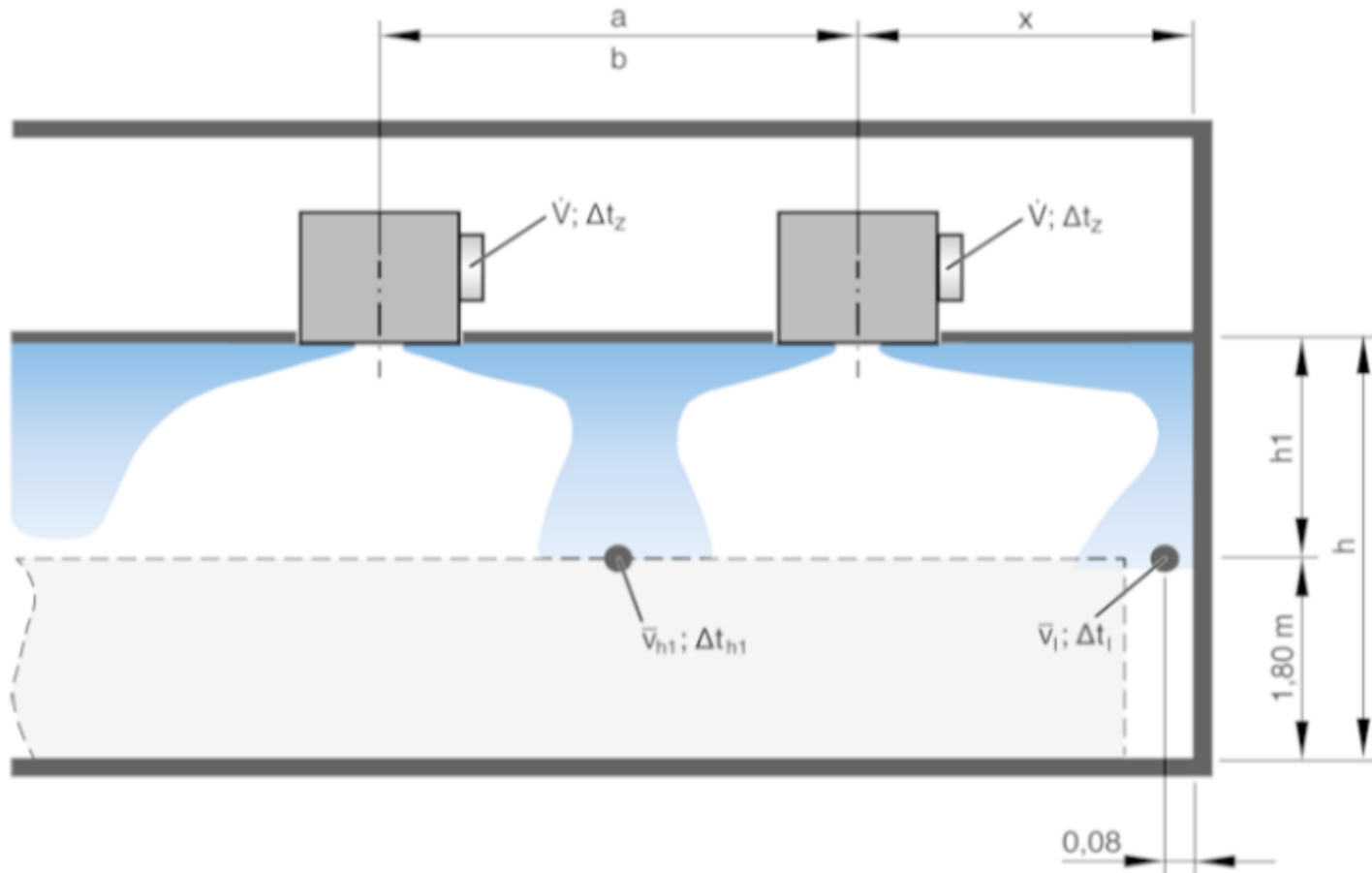
Source : www.energieplus-lesite.be



Source : <http://www.molimextherm.com>



Les diffuseurs



Source : TROX



Les diffuseurs

Saisie

Débit d'air [m³/h]

V (216...1440)

Interstices/Ecart [m]

a (≥0,8)

h₁ (0,9...2,0)

x (≥1,2)

b

l = h₁ + x = 4,2

☐ Disposition 1 rang

Différence de température [K]

Δt_z (-12,0...4,0)

Application/photo/vidéo



FD

Vue frontale carrée Exécution

Résultats aérauliques

v_{h1} = 0,17 m/s

Δt_{h1} = -1,0 K

v_l = 0,22 m/s

Δt_l = -0,4 K

Résultats acoustiques (100% = 'ouvert complètement')

Soufflage

Angle du clapet	0°	45°	90°	
Δpt	21	29	73	Pa
LWA	35	36	39	dB(A)
LWNC	30	31	34	

Source : TROX



INTRODUCTION

CLIMATISATION DE L'AIR

DIFFUSION DE L'AIR

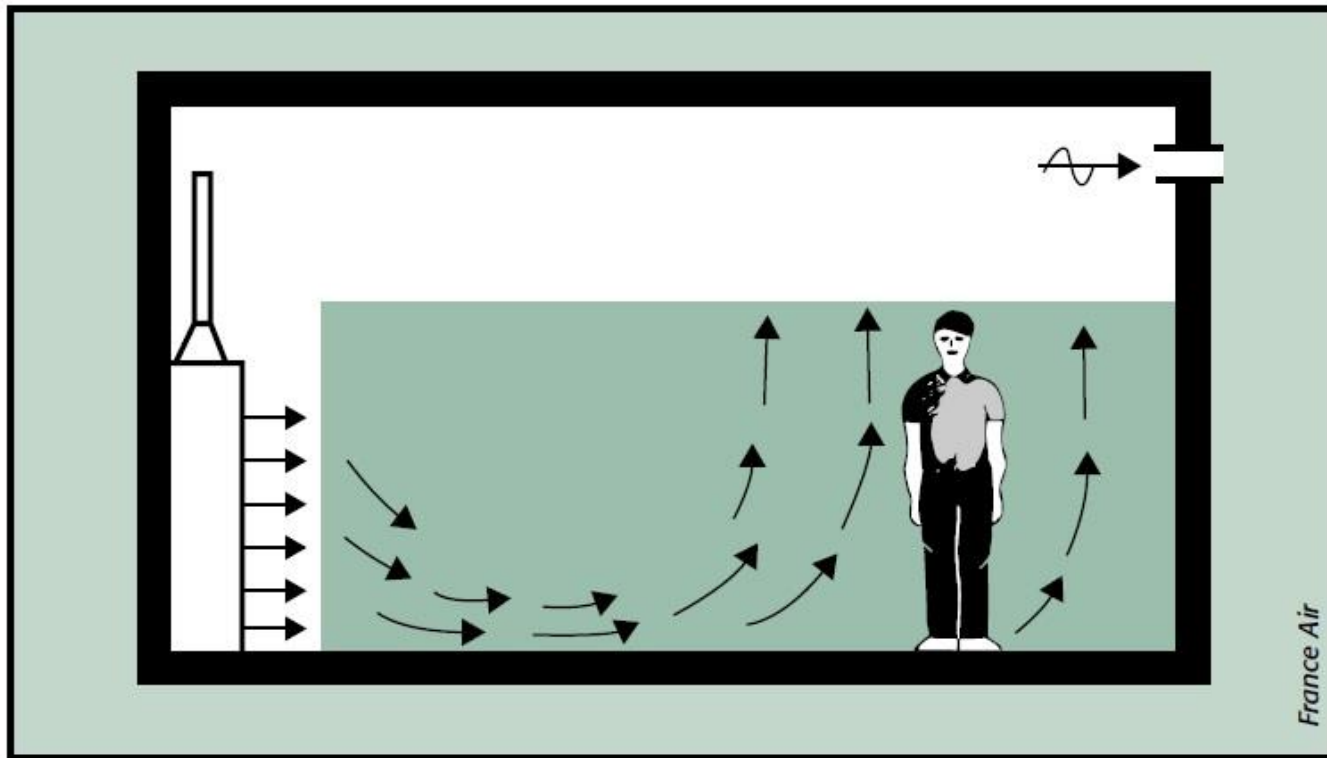
- Zone de confort
- Diffusion par mélange
- **Diffusion par déplacement d'air**

PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »



Le principe de la ventilation par déplacement

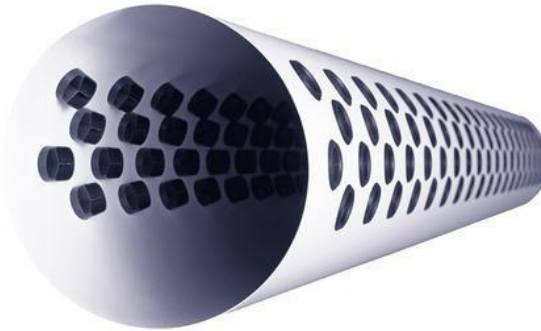
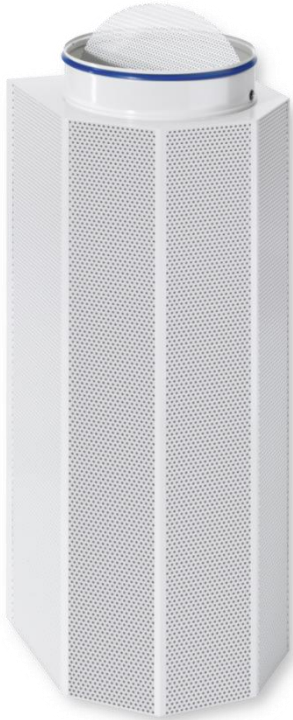
- ▶ L'air est introduit dans le local à faible vitesse mais avec un débit important
- ▶ La diffusion par déplacement se caractérise par un flux d'air presque unidirectionnel qui traverse le local



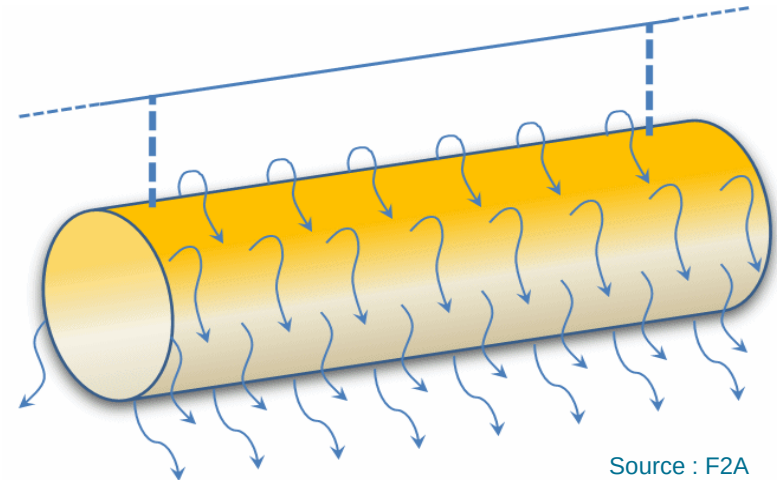
Source : France Air



Les diffuseurs



Source : www.trox.be



Source : F2A



INTRODUCTION

CLIMATISATION DE L'AIR

DIFFUSION DE L'AIR

PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »

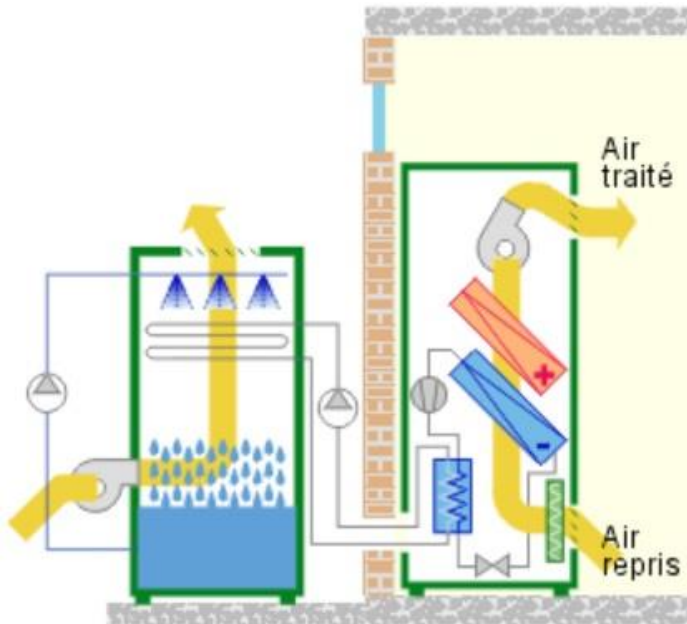
- ▶ **Rafraîchissement adiabatique**
- ▶ Free-chilling
- ▶ Déshumidification thermodynamique



RAFRAÎCHISSEMENT ADIABATIQUE (ÉTÉ)

C'est le principe de l'humidification par évaporation qui est utilisé pour refroidir l'air introduit dans le local en été

- ▶ Solution simple pour rafraîchir sans groupe frigorifique
- ▶ Nécessite un contrôle de la qualité de l'eau
- ▶ Efficacité limitée



Source : www.energieplus-lesite.be

Le refroidissement adiabatique peut être

- ▶ Direct : air humidifié directement pulsé dans l'ambiance
- ▶ Indirect : air pulsé refroidi par échange avec l'air qui aura été humidifié



INTRODUCTION

PROCÉDÉS DE CLIMATISATION DE L'AIR

DIFFUSION DE L'AIR

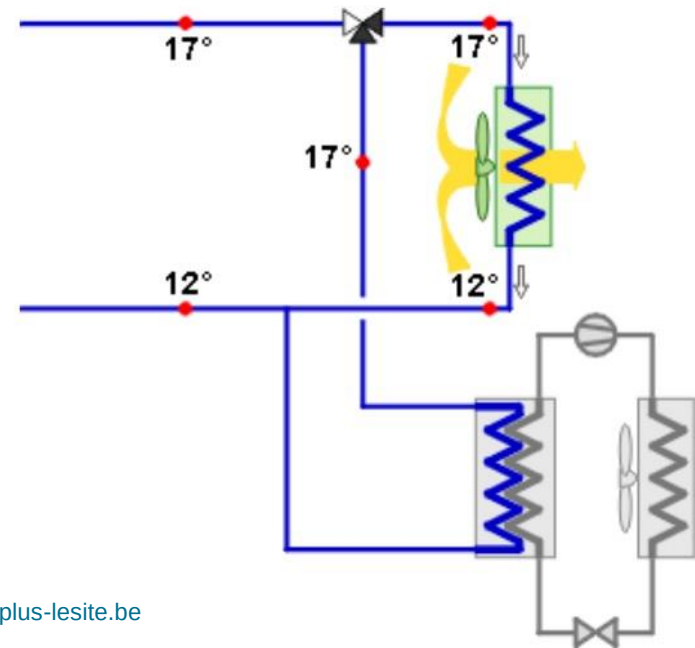
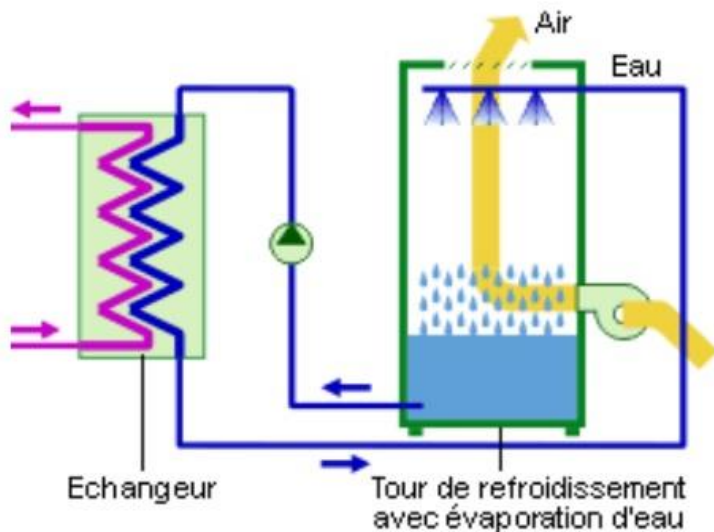
PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »

- ▶ Rafraîchissement adiabatique
- ▶ **Free-chilling**
- ▶ Déshumidification thermodynamique



Solution pertinente pour des locaux nécessitant du refroidissement en hiver (local informatique, process industriel, imprimerie...)

- ▶ Permet de limiter l'utilisation du groupe frigorifique
- ▶ Principe fonctionnant lorsque la température est inférieure à 10°C
- ▶ La rentabilité doit être calculée en fonction des besoins en froid
- ▶ Les régimes de température sont plus élevés (12-17°C)
- ▶ Difficulté d'adaptation dans le cadre d'une rénovation

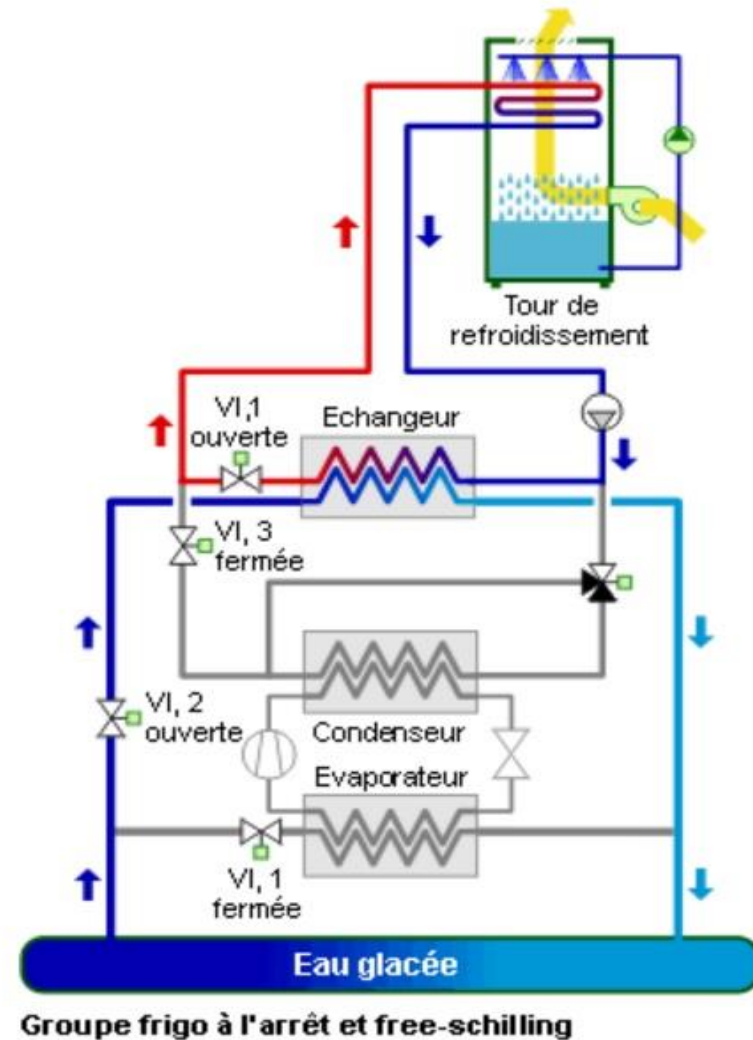
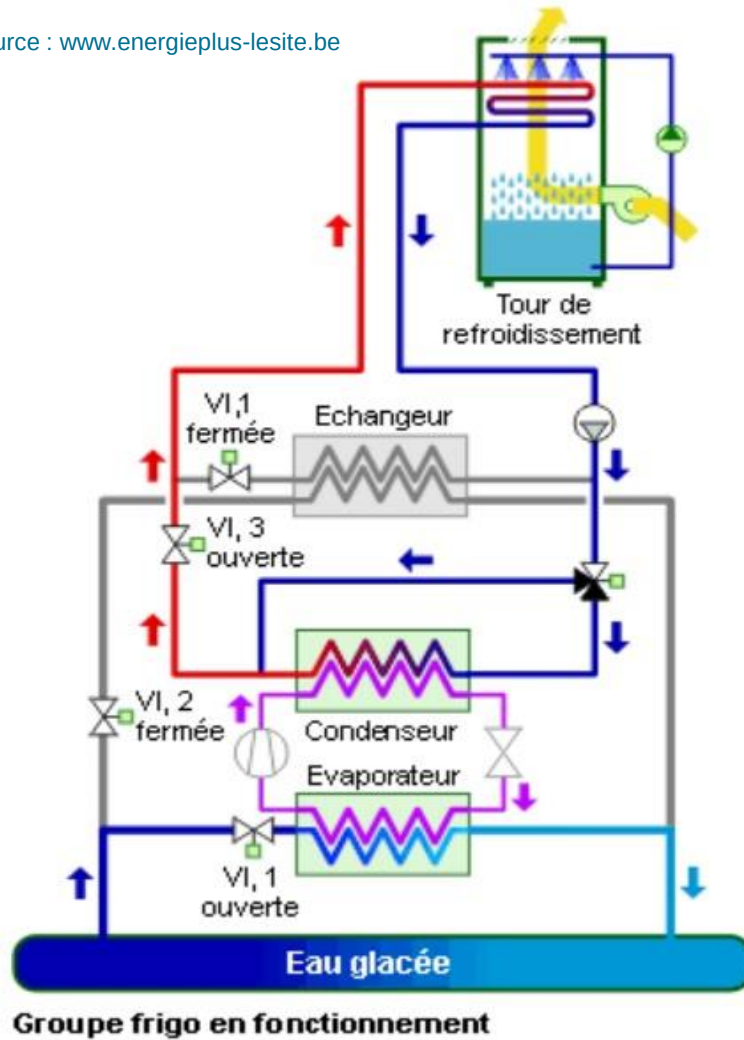


Source : www.energieplus-lesite.be



Exemple d'installation au Centre Hospitalier du Bois de l'Abbaye

Source : www.energieplus-lesite.be



INTRODUCTION

LES PROCÉDÉS DE CLIMATISATION DE L'AIR

LA DIFFUSION DE L'AIR

PRODUCTION DE FROID « ALTERNATIVE »

- ▶ Rafraîchissement adiabatique
- ▶ Free-chilling
- ▶ **Déshumidification thermodynamique**



La puissance en froid pour déshumidifier est produite par une PAC

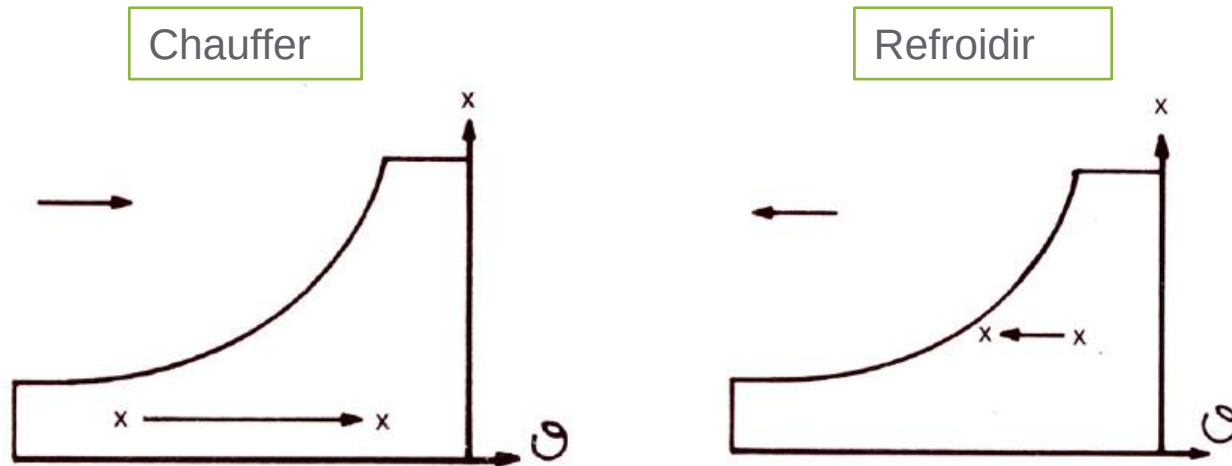
- ▶ Pertinent avec récupération de la chaleur du condenseur
- ▶ Besoins simultanés de production de chaud et de froid
- ▶ Applications : piscines publiques, patinoires, industrie

Source : Ecoenergie





- ▶ La climatisation via l'air doit faire l'objet d'une réflexion dès l'entame d'un projet
- ▶ La climatisation de l'air impacte son hygrométrie
- ▶ Des solutions d'optimisation énergétique existent

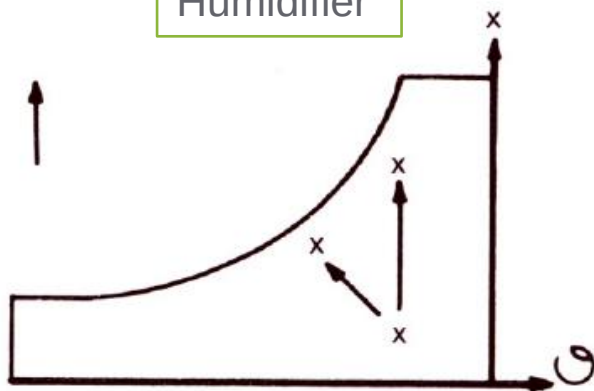


Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza

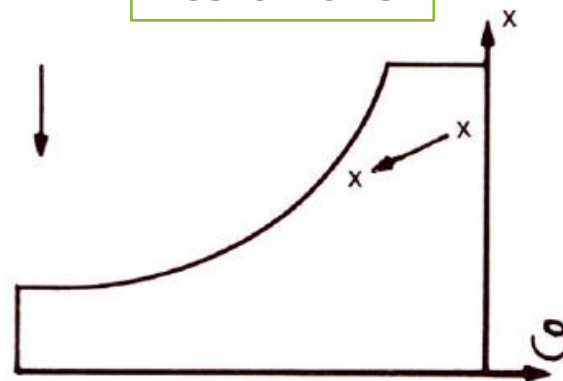




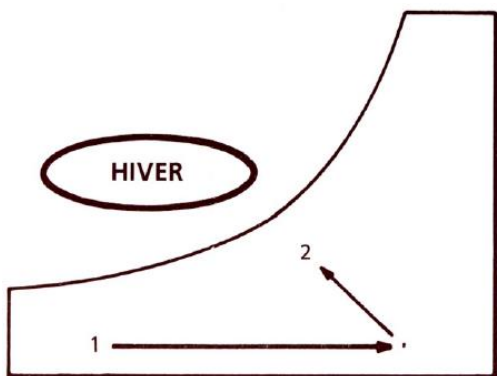
Humidifier



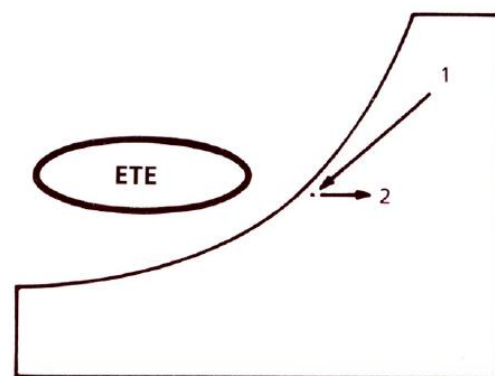
Déshumidifier



Chauffer et humidifier



Refroidir et déshumidifier



Source : AFPA – DEAT – F. Cabeza





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels

- ▶ Ventilation
- ▶ Free-cooling
- ▶ Refroidissement



Sites internet

- ▶ Energie +
<http://www.energieplus-lesite.be/>
- ▶ CSTC – Publications – Infofiches - Ventilation des bâtiments
<https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=42&art=1>
- ▶ DIMCLIM
www.dimclim.fr



Pierre GUSTIN

Ingénieur projet
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

