

OPLEIDING DUURZAME GEBOUWEN

VENTILATIE : ONTWERP EN AFSTELLING

LENTE 2022

Klimaatregeling via het ventilatiesysteem



- ▶ De uitdagingen en grenzen van verwarmen en koelen via de lucht toelichten
- ▶ De hygrothermische veranderingen van de lucht voorstellen
- ▶ Het concept van de luchtverdeling behandelen
- ▶ Een paar « alternatieve » koudeproductie systemen voorstellen



INLEIDING

- ▶ **Lucht als klimaatregelingsvector**
- ▶ Temperatuur en hygrometrie van de lucht

BEHANDELING VAN DE LUCHT

LUCHTVERDELING

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE



De door de ventilatie aangevoerde lucht kan worden gebruikt als vector

- ▶ Om te verwarmen of te koelen
- ▶ Om te bevochtigen of te ontvochtigen

Relevante toepassingen

- ▶ Tertiaire sector (handelszaken, hotels, landschapskantoren,...)
- ▶ Onderwijs (auditoria, leslokalen,...)
- ▶ Sportinfrastructuur
- ▶ Industrie (opslagplaatsen, fabrieken,...)
- ▶ Ziekenhuizen



Beperkingen

- ▶ Beschikbare ruimte voor de pulsiegroep en het net (aanzienlijke plaatsinname)
- ▶ Voldoende hoog debiet
- ▶ Volumetrie van de ruimten waardoor een goede luchtverdeling mogelijk is

Voordelen

- ▶ Geen uitrusting nodig in de kamers
- ▶ Laat toe de technieken te groeperen

Nadelen

- ▶ Afhankelijkheid van hygiënische ventilatie met klimaatbehandeling

→ De haalbaarheid van een systeem waarbij er alleen via de ventilatielucht wordt verwarmd en/of gekoeld, moet rekening houden met deze gegevens



INLEIDING

- ▶ Lucht als klimaatregelingsvector
- ▶ **Temperatuur en hygrometrie van de lucht**

BEHANDELING VAN DE LUCHT

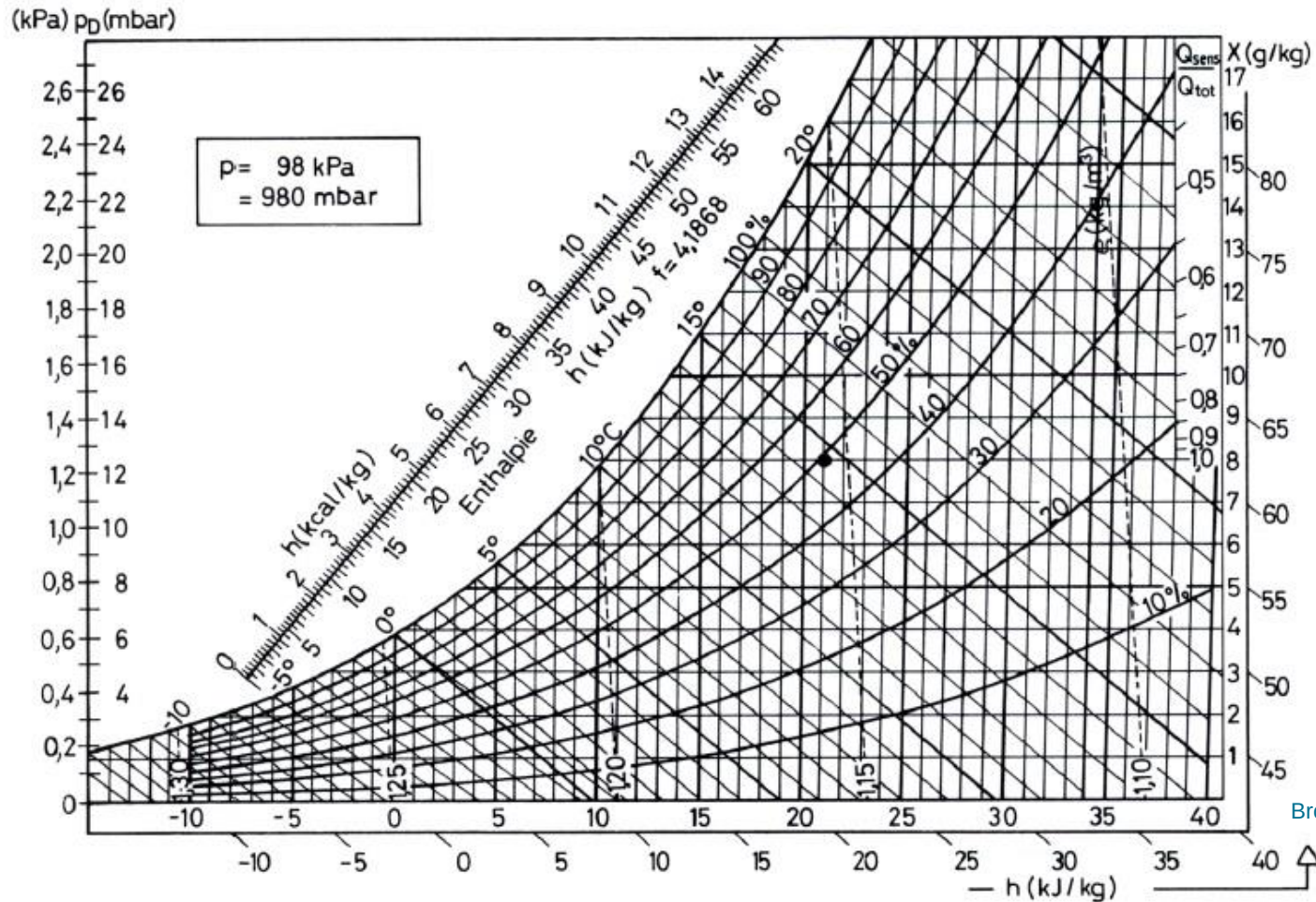
LUCHTVERDELING

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE



Diagram van de vochtige lucht

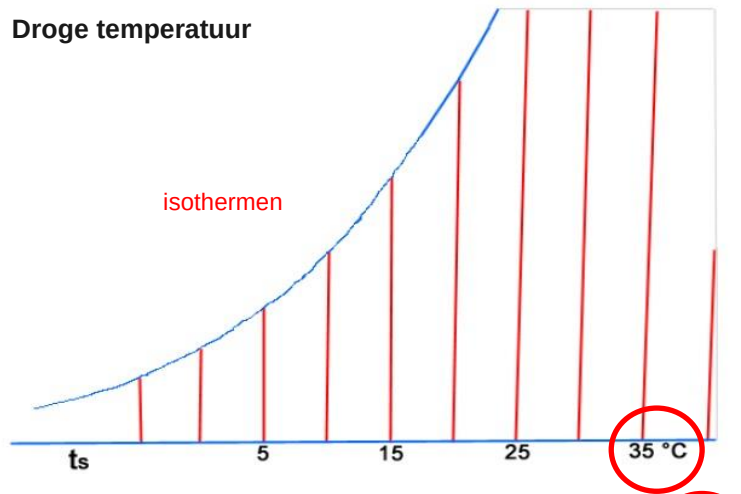
- ▶ Laat toe de kenmerken van de lucht te bepalen



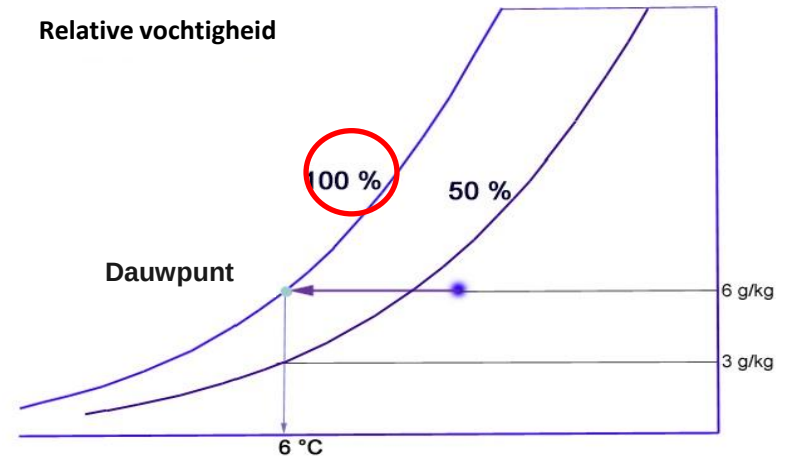
Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza



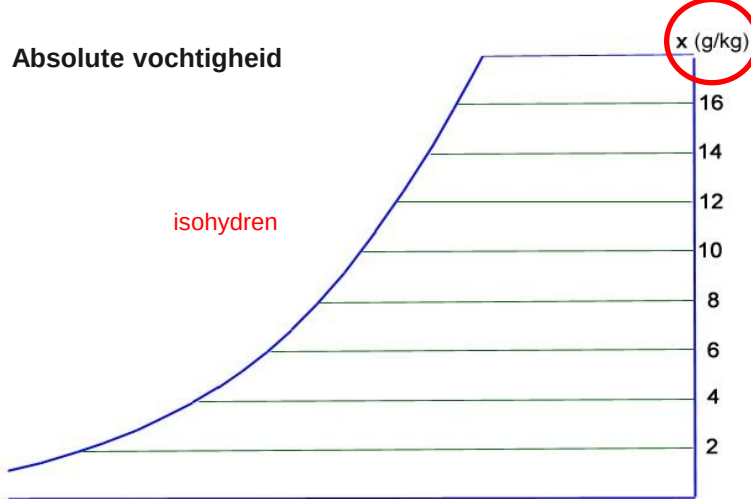
Droge temperatuur



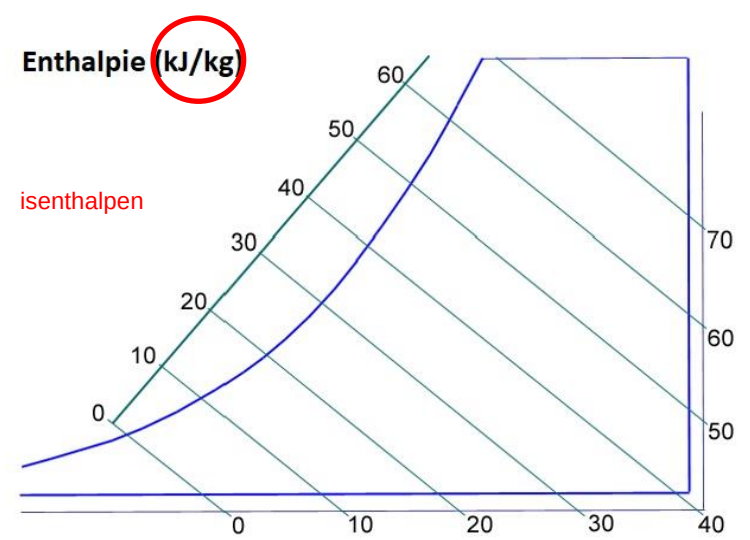
Relative vochtigheid



Absolute vochtigheid



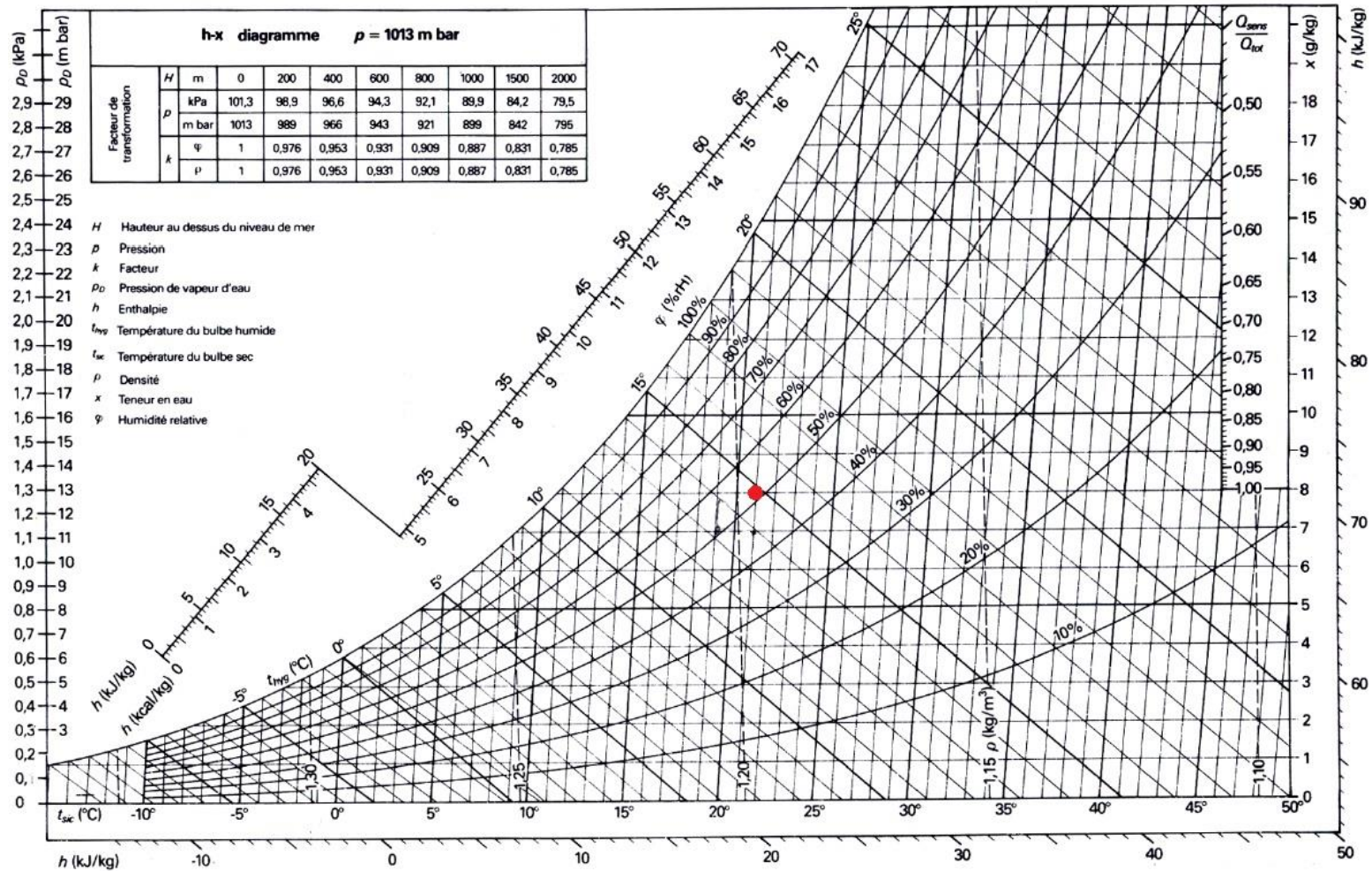
Enthalpie (kJ/kg)



Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza



TEMPERATUUR EN HYGROMETRIE VAN DE LUCHT



Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza

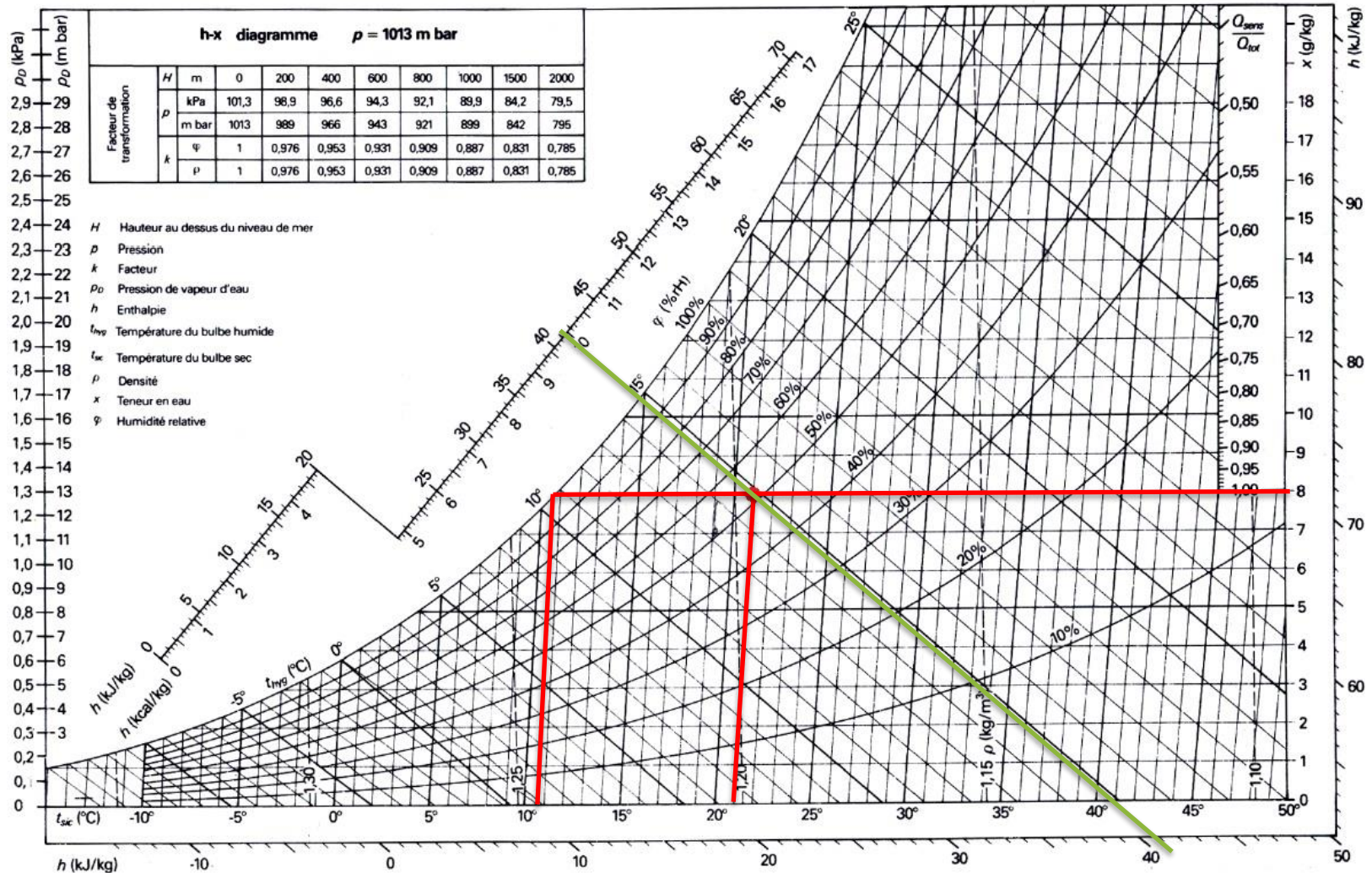




Vul de tabel in aan de hand van het vorige diagram

Omschrijving	Symbool	Eenheid	Punt
Droge temperatuur	t_s	$^{\circ}\text{C}$	
Absolute vochtigheid	x	g/kg	
Dauwpunt	t_r	$^{\circ}\text{C}$	
Relatieve vochtigheid	φ	%	
Enthalpie	h	kJ/kg	
Vochtige temperatuur	T_h	$^{\circ}\text{C}$	
Volumieke massa	ρ		





Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

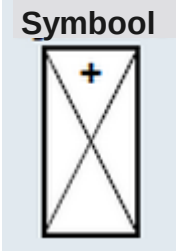
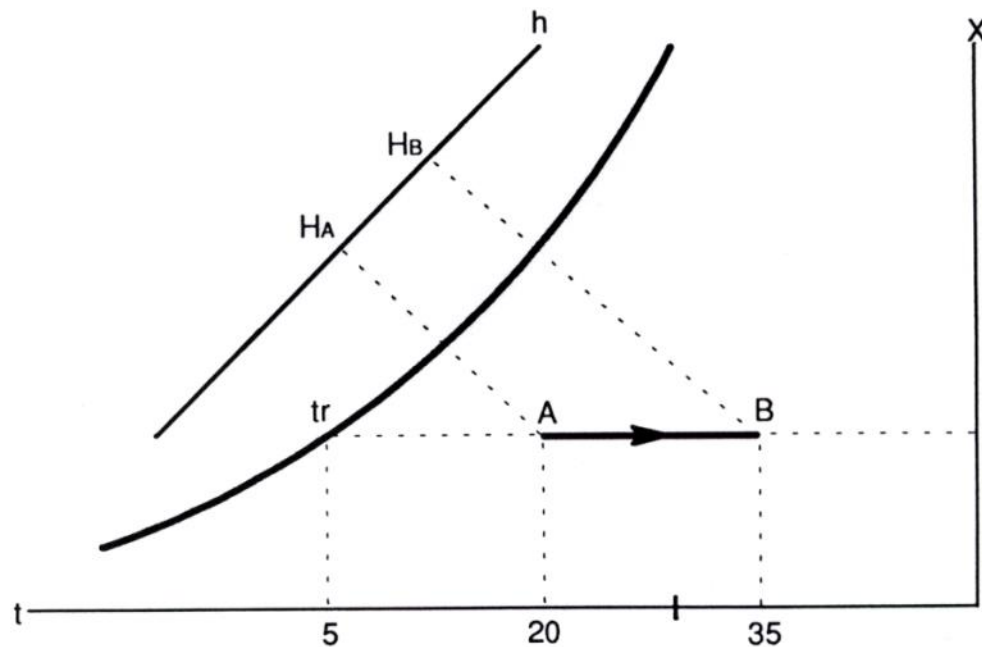
- ▶ **Verwarming**
- ▶ Koeling
- ▶ Bevochtiging
- ▶ Ontvochtiging
- ▶ Vermenging

LUCHTVERDELING

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE



Evolutie van de lucht - verwarming



Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza

- ▶ De verwarming wordt op het psychometrisch diagram weergegeven door een horizontale lijn tussen de punten **A** en **B**.
- ▶ Wanneer de droge temperatuur t stijgt :
 - blijft de dauwtemperatuur t_r constant
 - blijft de absolute vochtigheid x constant

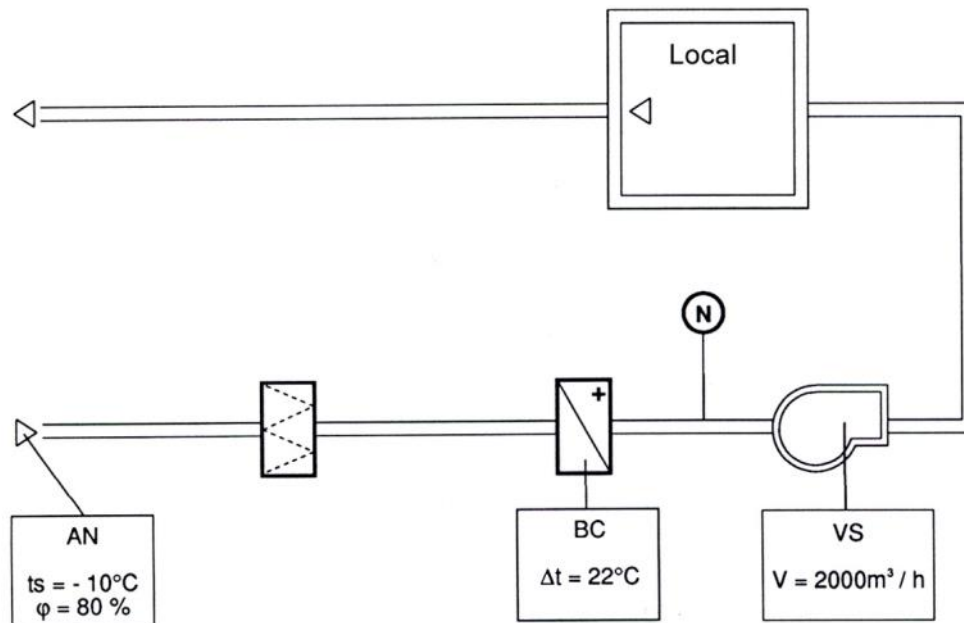


De RV neemt af, en dat is het probleem





Welk vermogen kan door de ventilatie worden overgebracht?



$$\text{Verwarmingsvermogen [W]} = 0,34 \times \text{Debiet} \times \Delta T$$

[W/(m³/u).K] [m³/u] [°K]

Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza

- In deze ventilatie-installatie wordt 2.000 m³/u lucht verwarmd met batterij BC. Hierbij moet het volgende worden vastgesteld:

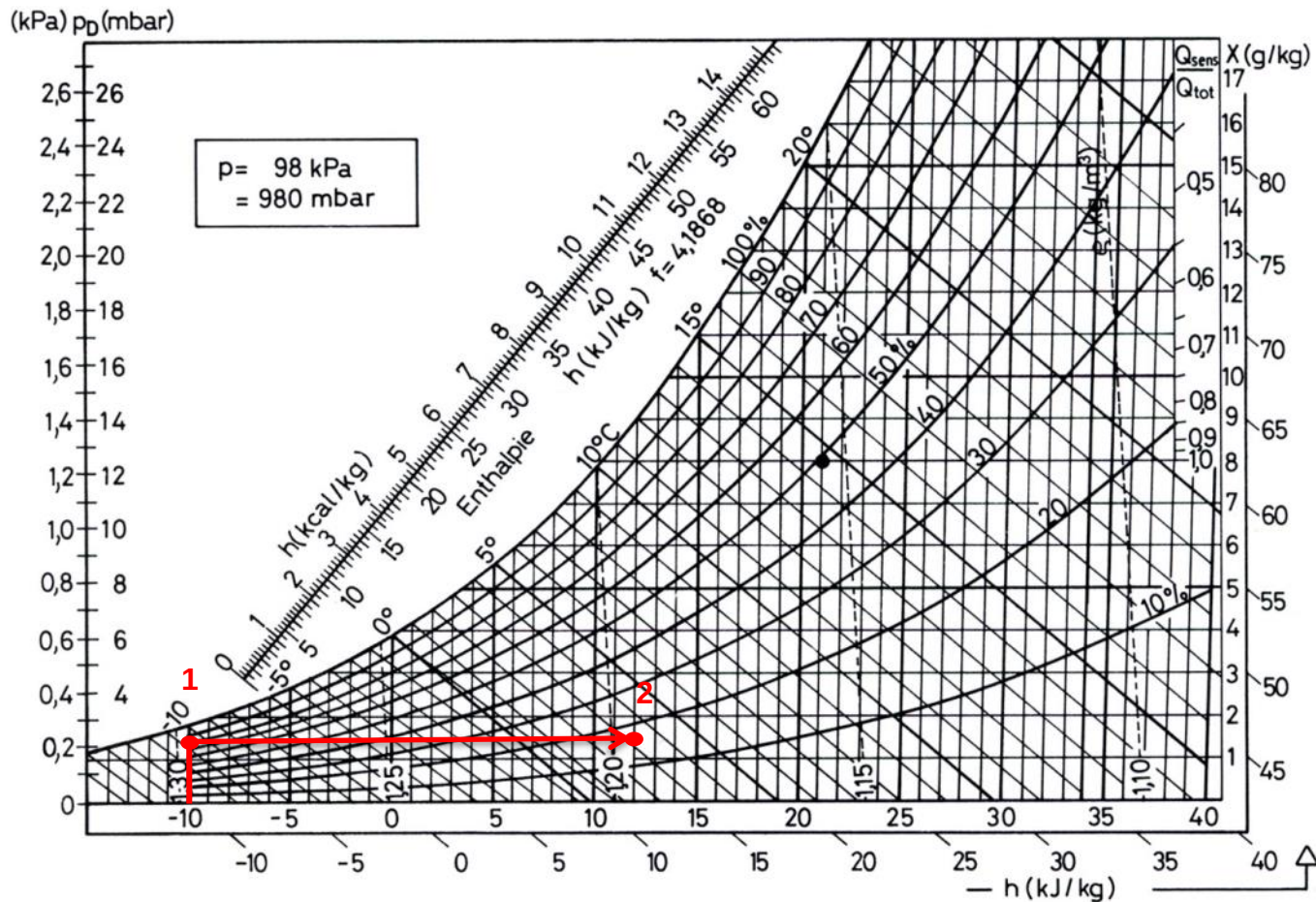
- 1 - De kenmerken van punt N aan de uitgang van batterij BC.
- 2 - Het vermogen van batterij BC.





Welk vermogen kan door de ventilatie worden overgebracht?

- 1 - De kenmerken van punt N aan de uitgang van batterij BC



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

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





Welk vermogen kan door de ventilatie worden overgebracht?

- 2 – Het vermogen van batterij BC

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

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

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

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

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

$$t_{s2'} = 35^{\circ}\text{C}$$

$$\Phi_{2'} = 4 \% !!!$$

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



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

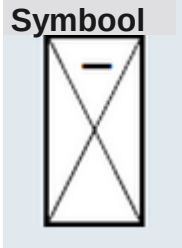
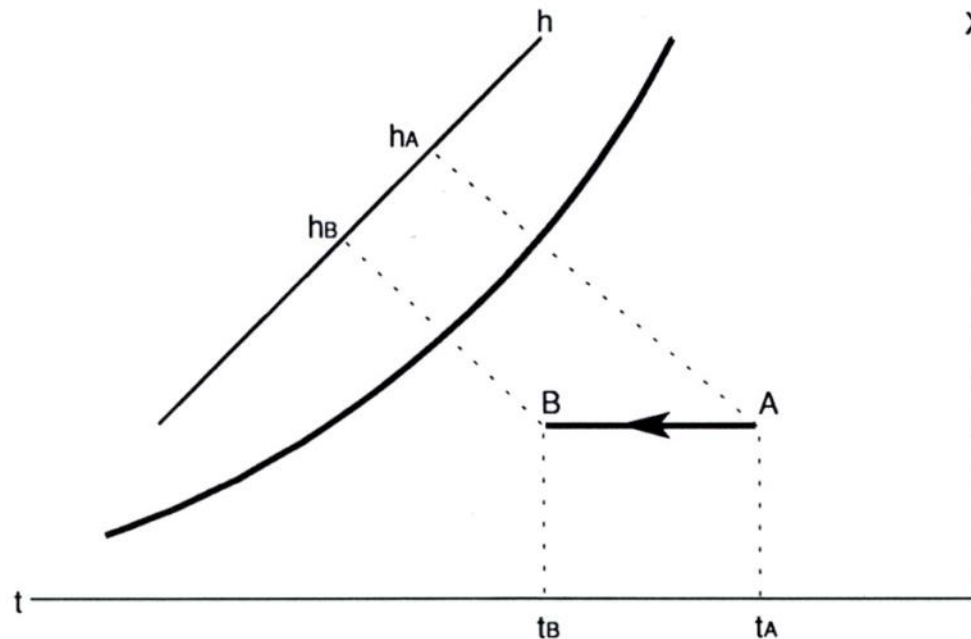
- ▶ Verwarming
- ▶ **Koeling**
- ▶ Bevochtiging
- ▶ Ontvochtiging
- ▶ Vermenging

LUCHTVERDELING

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE



Evolutie van de lucht – “droge” koeling (zonder condensatie)



Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza

De oppervlaktetemperatuur van de koudebatterij blijft hoger dan de dauwtemperatuur van de lucht voor die door de koudebatterij gaat.

- ▶ Deze warmte die uit de lucht wordt getrokken, is de voelbare warmte.
 - ▶ Er is geen condensatie van waterdamp van de lucht.
- Deze koeling van de waterdamp zonder wijziging van toestand wordt voelbare of “DROGE” koeling genoemd.



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

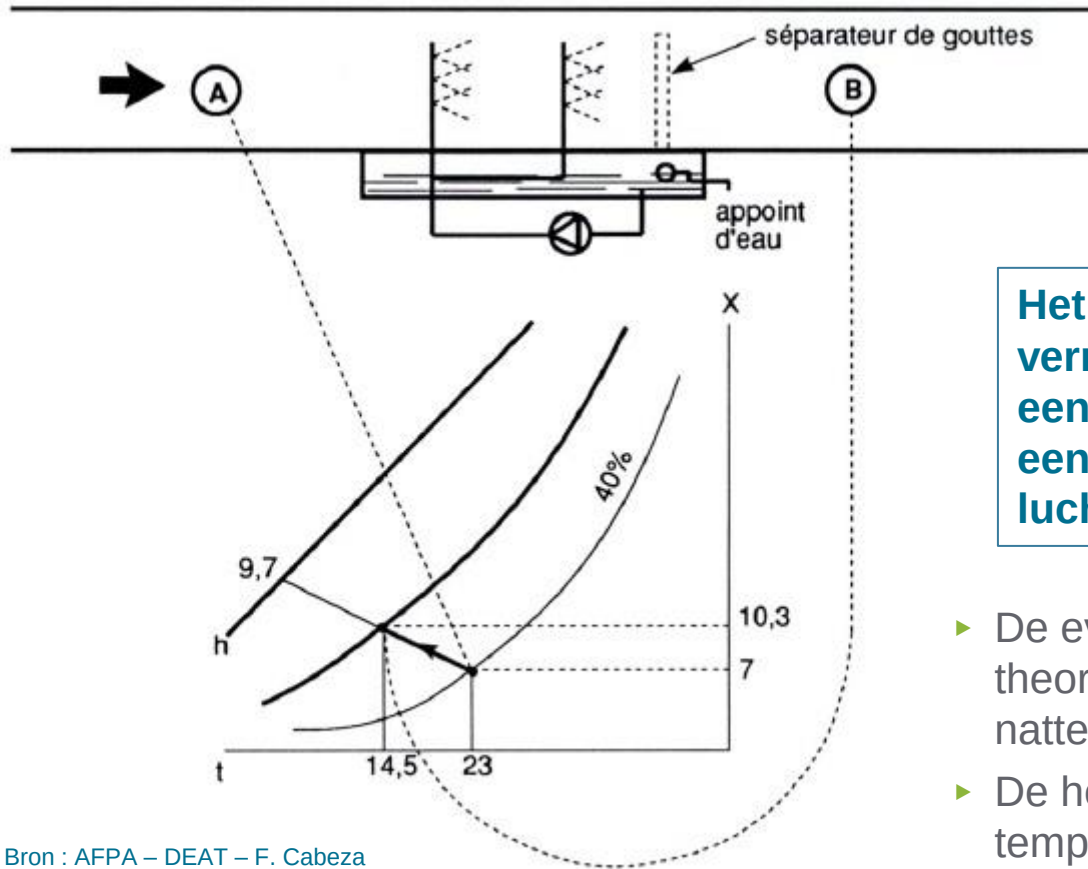
- ▶ Verwarming
- ▶ Koeling
- ▶ **Bevochtiging**
- ▶ Ontvochtiging
- ▶ Vermenging

LUCHTVERDELING

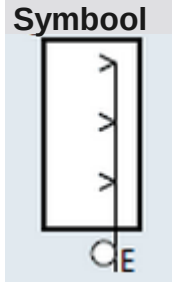
“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE



Evolutie van de lucht – Vernevelingsbevochtiger



Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza

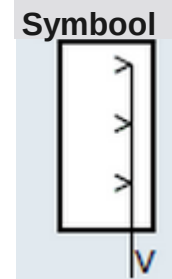
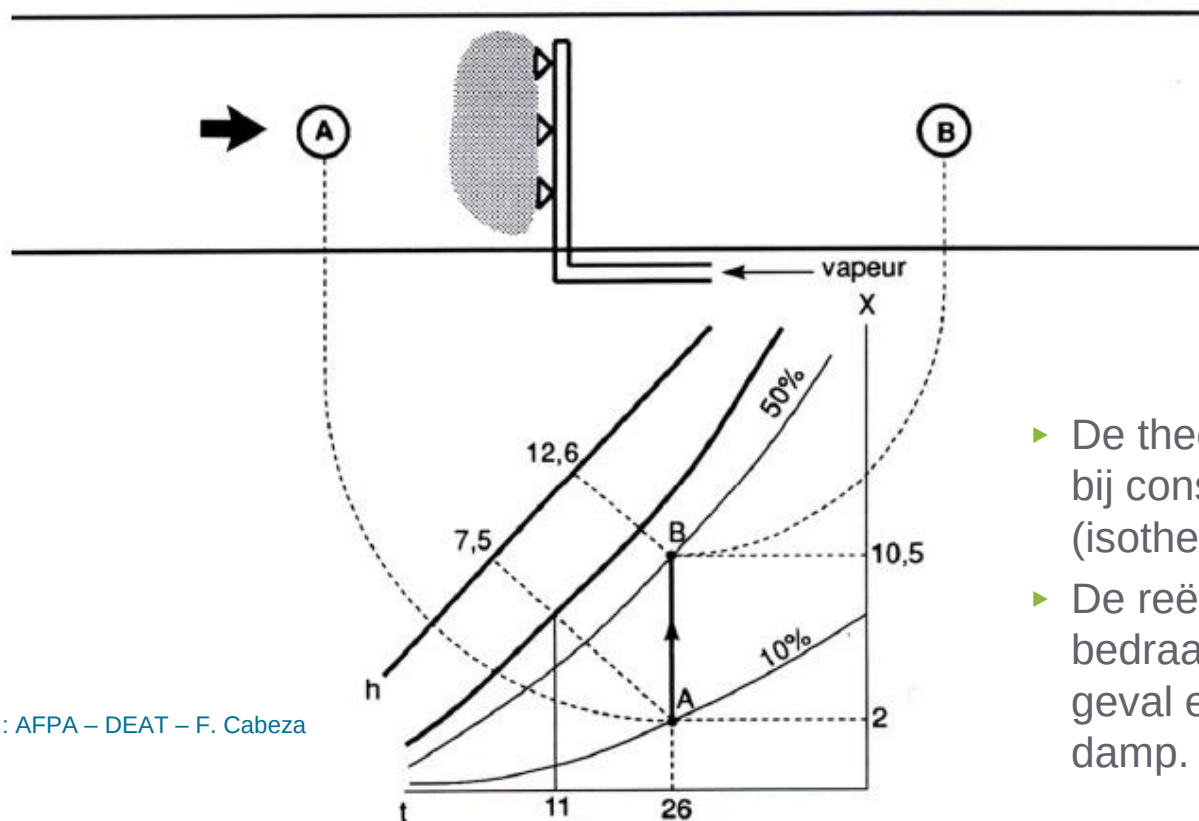


Het water wordt door sproeiers verneveld in de luchtstroom of op een afvloeiingsoppervlak dat voor een betere bevochtiging van de lucht zorgt.

- ▶ De evolutie van de lucht gebeurt theoretisch met constante natteboltemperatuur.
- ▶ De helling van de evolutie hangt af van de temperatuur van het vernevelde water.
- ▶ De bevochtiger volstaat niet om de lucht te verzadigen. Hiervoor is een “oneindig uitwisselingsoppervlak” nodig



Evolutie van de lucht – Stoomluchtbevochtiger



- ▶ De theoretische evolutie [AB] gebeurt bij constante droge temperatuur (isotherm).
- ▶ De reële temperatuurstijging bedraagt 1 tot 2 °C naargelang het geval en de temperatuur van de damp.

Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza

In het kader van een voorontwerp wordt de evolutie als isothermisch beschouwd



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

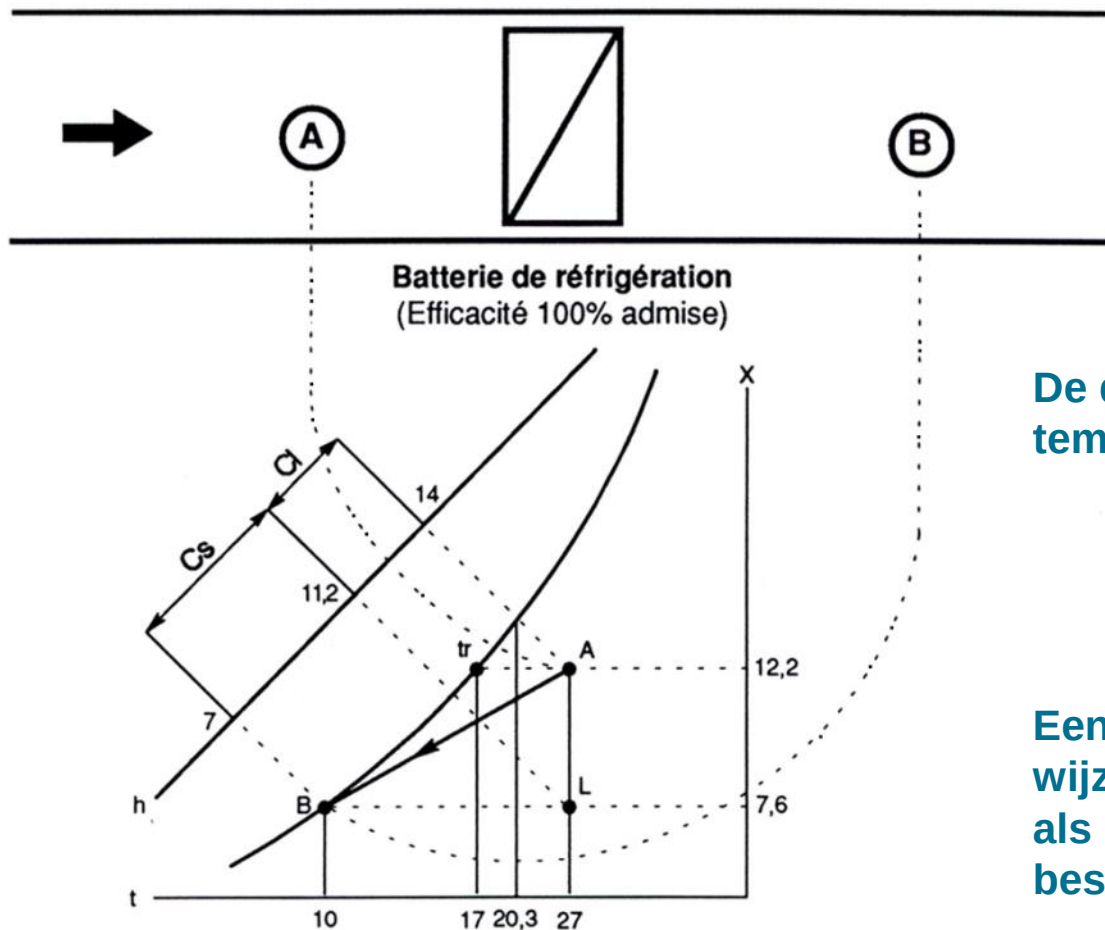
- ▶ Verwarming
- ▶ Koeling
- ▶ Bevochtiging
- ▶ **Ontvochtiging**
- ▶ Vermenging

LUCHTVERDELING

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE



Evolutie van de lucht – Koeling en ontvochtiging van de lucht



Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza

De koeling van de lucht, tot een temperatuur lager dan het dauwpunt ervan, gaat altijd gepaard met een ontvochtiging. ⚠

De daling van de droge temperatuur gaat gepaard met

- ▶ de daling van de dauwtemperatuur,
- ▶ de daling van de absolute luchtvochtigheid.

Een dergelijke transformatie wijzigt zowel de voelbare warmte als de latente warmte van de beschouwde lucht.



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

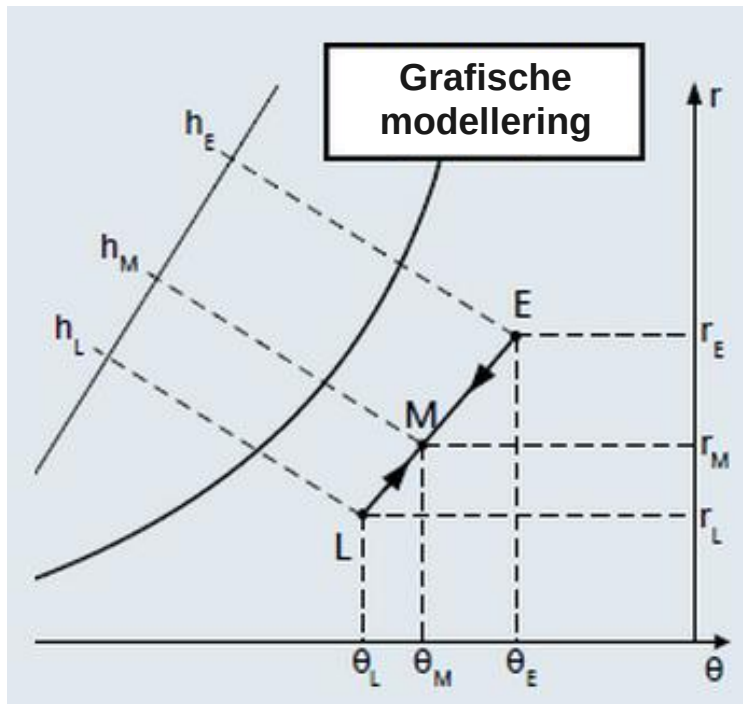
- ▶ Verwarming
- ▶ Koeling
- ▶ Bevochtiging
- ▶ Ontvochtiging
- ▶ **Luchtvermenging**

LUCHTVERDELING

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE

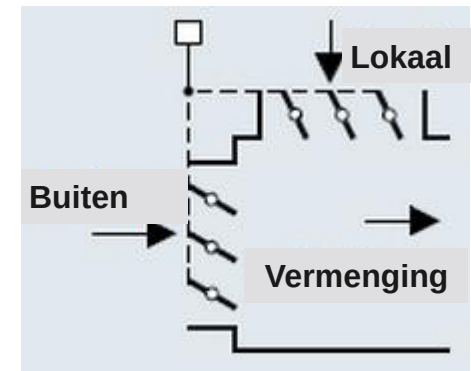


Evolutie van de lucht – Vermenging van luchtmassa's



Source : www.dimclim.fr

Het mengpunt M ligt op een rechte lijn tussen de 2 punten. De plaats hangt af van het **massadebiet**.



Toepassing van de wet van de luchtvermenging geeft:

- ▶ $h_M = (q m_E \cdot h_E + q m_L \cdot h_L) / (q m_E + q m_L)$
- ▶ $r_M = (q m_E \cdot r_E + q m_L \cdot r_L) / (q m_E + q m_L)$
- ▶ $\theta_M = (q m_E \cdot \theta_E + q m_L \cdot \theta_L) / (q m_E + q m_L)$



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

LUCHTVERDELING

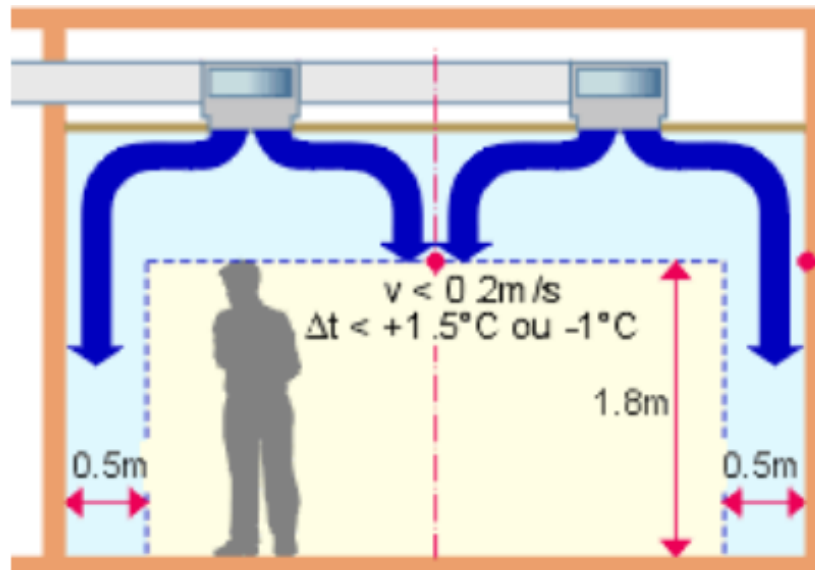
- ▶ **Comfortzone**
- ▶ Verdeling door vermenging
- ▶ Verdeling door verdringing

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE



De restsnelheid in de bezette zone

- ▶ De verdeling van de verwarmings- of koelingslucht mag geen hinder genereren in de bezette zone
- ▶ De bezette zone bestaat uit de oppervlakte van de ruimte waarvan een strook van 50 tot 100 cm langs de muren wordt afgetrokken
- ▶ De hoogte van de bezette zone bedraagt 1,8 m
- ▶ In deze zone moet de luchtsnelheid minder dan 0,2 m/s bedragen
- ▶ Langs de muren moet de snelheid onder 0,4 m/s blijven



In de bezette zone mag het temperatuurverschil tussen de ingeblazen lucht en de omgevingslucht niet groter zijn dan:

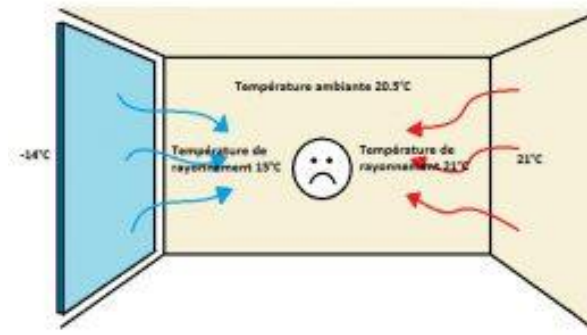
- 1.5°C bij warme ingeblazen lucht
- 1°C bij koude lucht

Bron : www.energieplus-lesite.be



NBN
ISO 7730 **NBN EN ISO 7730 - Ergonomie van de thermische omgeving**

- ▶ **Operatieve temperatuur**
 - Zomer: 23/26 °C
 - Winter: 20/24 °C
- ▶ **Verticaal temperatuurverschil**
 - $< 2/3$ °C / m
- ▶ **Oppervlaktetemperatuur van de vloer**
 - In het algemeen: 19/26 °C
 - Vloerverwarming: 19/29 °C
- ▶ **Stralingsasymmetrie**
 - In het algemeen: $< 10^{\circ}\text{C}$
 - Plafondverwarming: $< 5^{\circ}\text{C}$
- ▶ **Gemiddelde lichtsnelheid**
 - Zomer: $< 0,25$ m/s
 - Winter: $< 0,15$ m/s



Bron : www.heol.bzh



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

LUCHTVERDELING

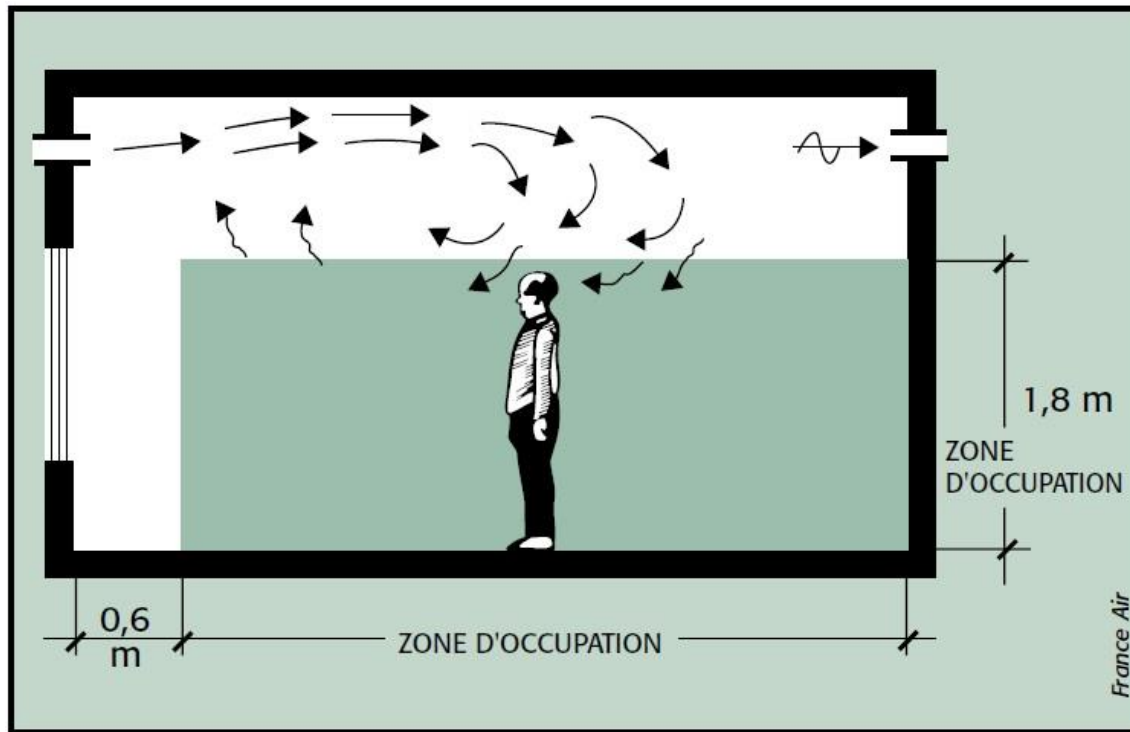
- ▶ Comfortzone
- ▶ **Verdeling door vermenging**
- ▶ Verdeling door verdringing

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE



Het principe van de ventilatie door vermenging

- De lucht wordt met voldoende snelheid ingeblazen om zich met de lucht in de betreffende ruimte te vermengen en naar de bezette zone te stromen



Bron : France Air



Circulatiegraad bij luchtkoeling



⇒ Tussen de 5 à 8 vol/h

Circulatiegraad bij luchtverwarming



⇒ Tussen de 2 à 5 vol/h

- ▶ Een circulatiegraad van 5 vol/u zorgt voor een goede verspreiding van de warmte in de ruimte:
 - Temperatuur homogeniteit
 - Geen stratificatie
 - Heeft meestal een hoger debiet nodig dan hygiënisch ventilatie

⇒ **Werken met luchtrecirculatie**



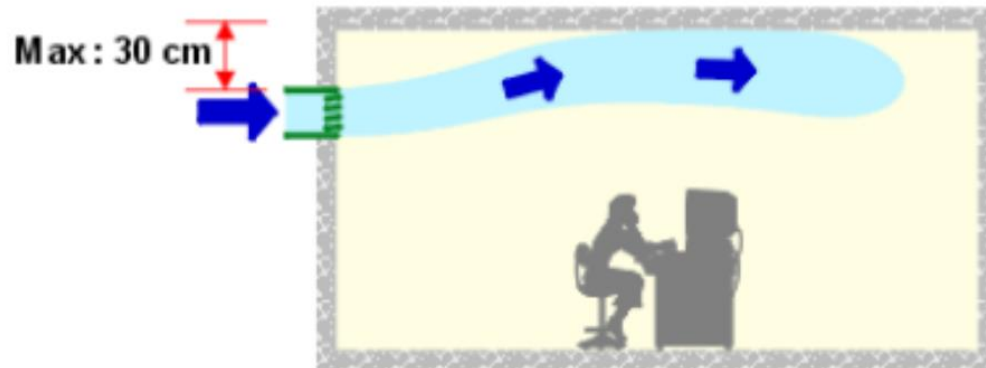
Kenmerken van de ventilatie door vermenging

- ▶ Stabiliteit van de luchtstroom bij lage debieten
- ▶ Aanzienlijke luchtvermenging
- ▶ Gelijkmatigheid van de temperatuur en partikels
- ▶ Flexibiliteit in de plaatsing van de diffusoren



Coanda-effect

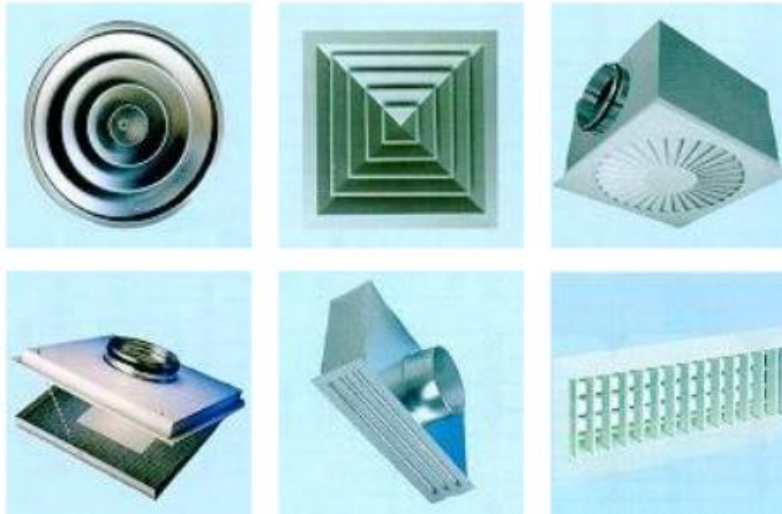
- ▶ De luchtstroom 'kleeft' tegen het plafond
- ▶ Bij koeling zal de lucht niet te snel zakken
- ▶ In acht te nemen bij de selectie van de diffusor



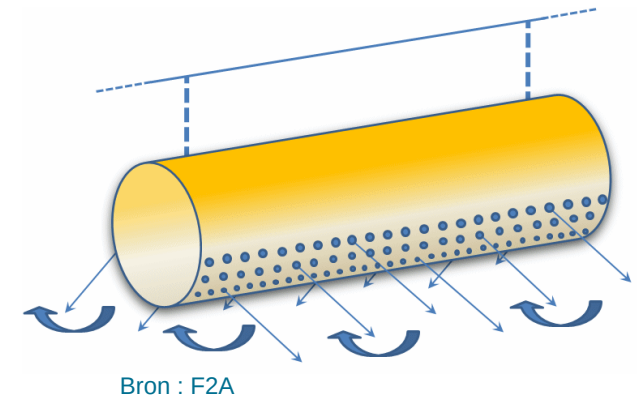
Bron : www.energieplus-lesite.be



De diffusoren



Bron : www.energieplus-lesite.be

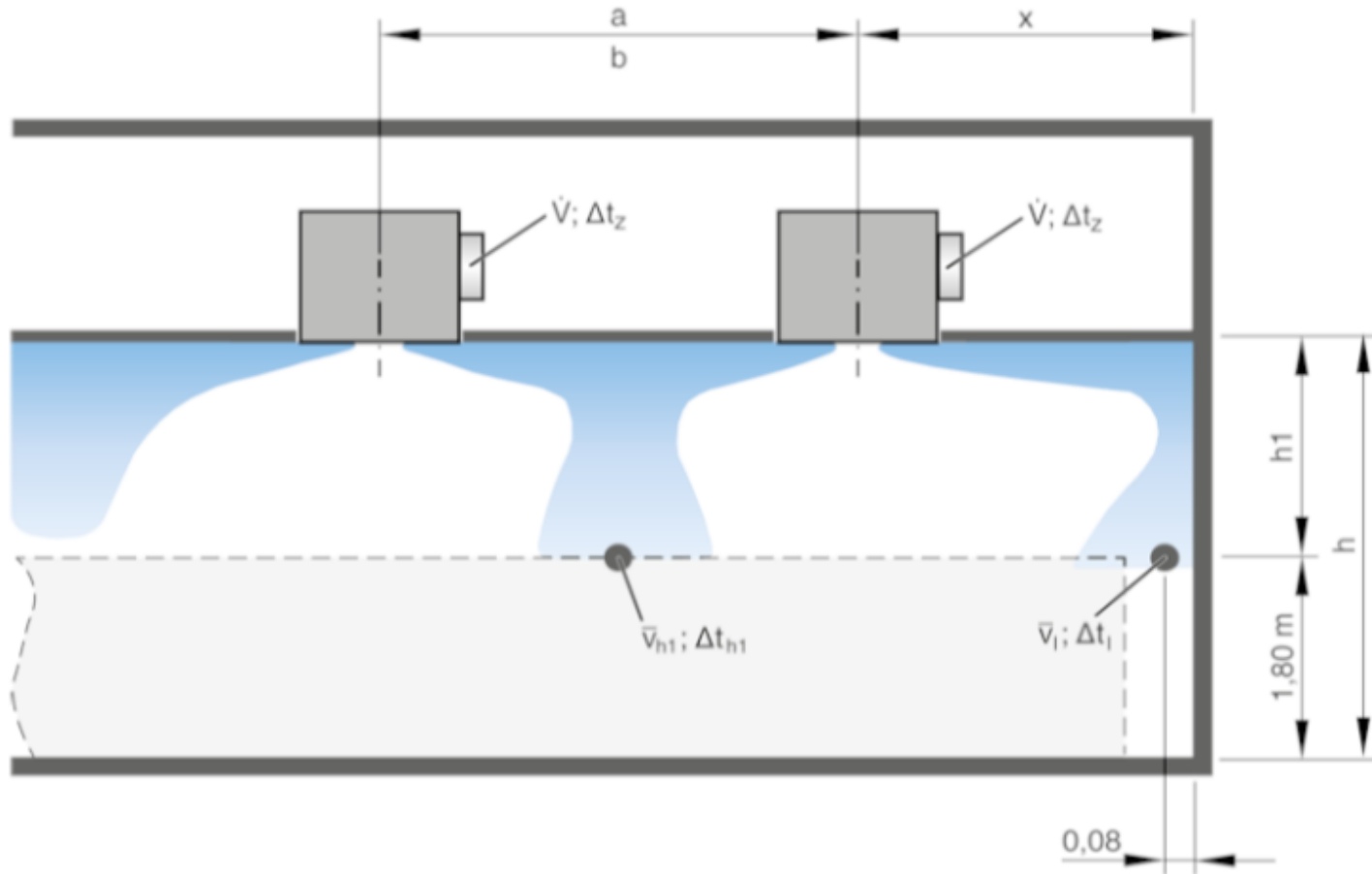


Bron : <http://www.molimextherm.com>



De diffusoren

- De luchtsnelheid speelt een rol in het comfortgevoel



Bron : TROX



De diffusoren

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

Bron : TROX



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

LUCHTVERDELING

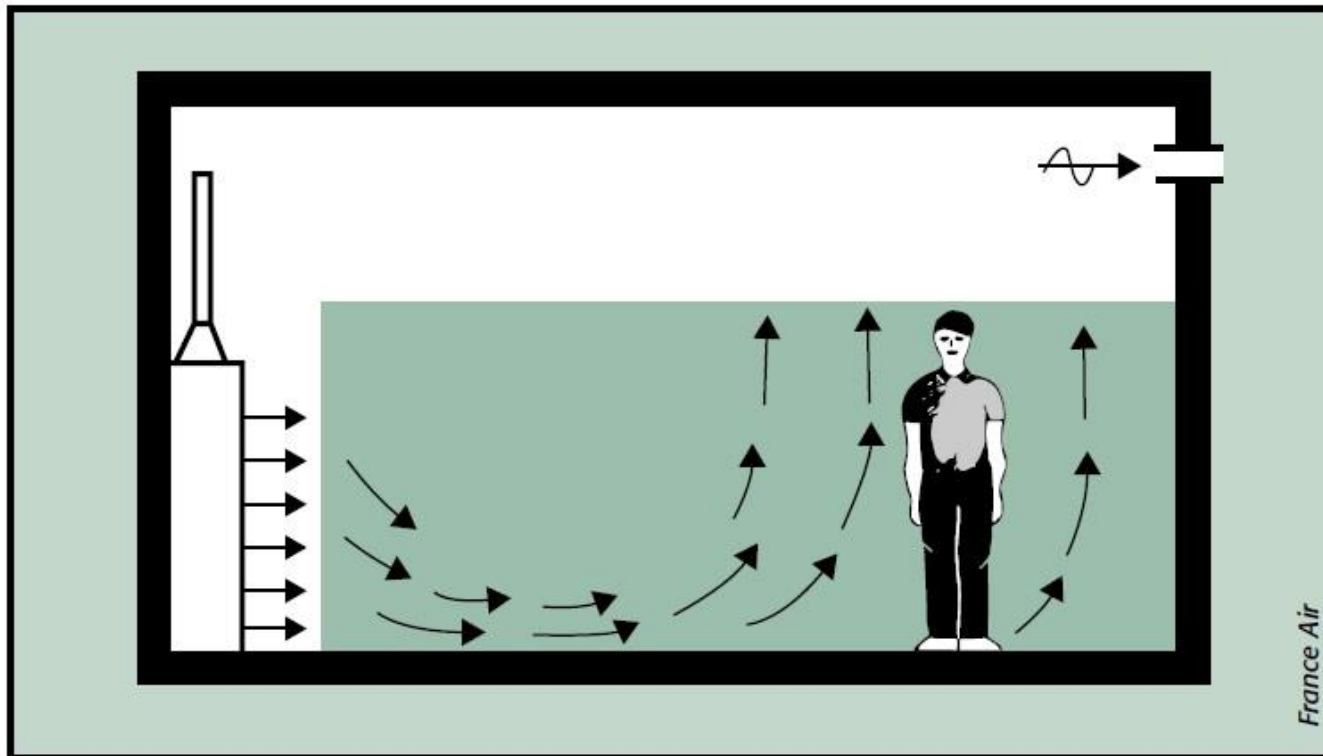
- ▶ Comfortzone
- ▶ Verdeling door vermenging
- ▶ **Verdeling door verdringing**

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE



Het principe van de ventilatie door verdringing

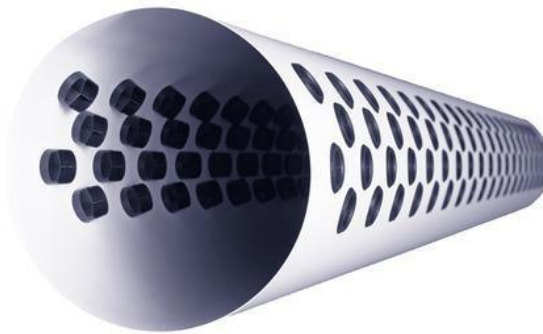
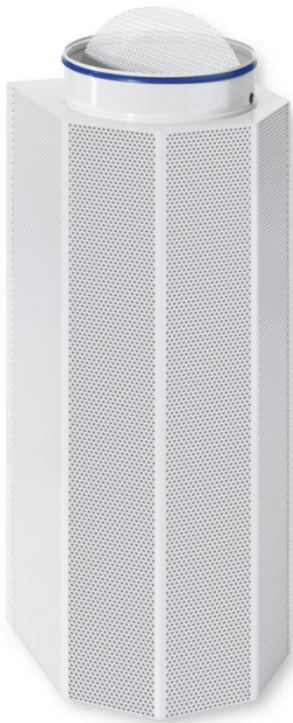
- ▶ De lucht wordt met lage snelheid maar groot debiet de ruimte ingeblazen
- ▶ De verdeling door verdringing wordt gekenmerkt door een bijna unidirectionele luchtstroom die door de betreffende ruimte stroomt



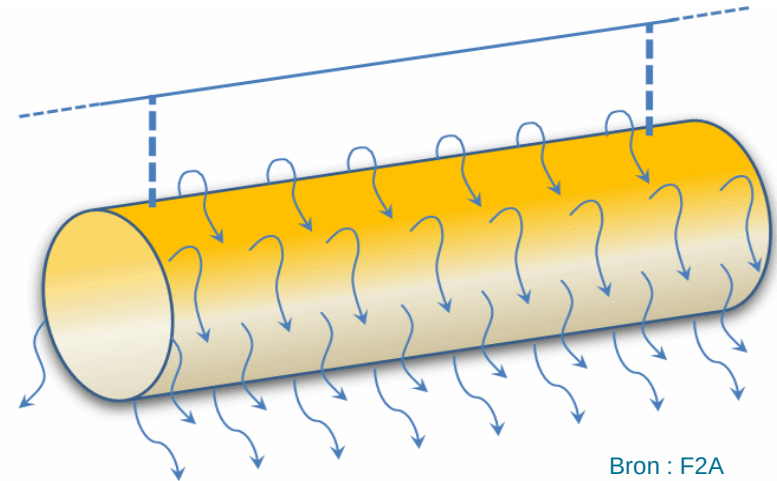
Bron : France Air



De diffusoren



Bron : www.trox.be



Bron : F2A



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

LUCHTVERDELING

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE

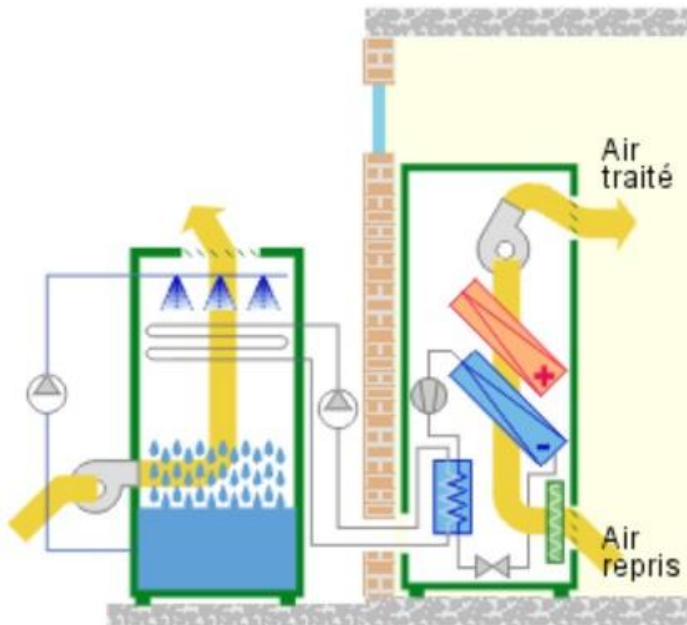
- ▶ **Adiabatische koeling**
- ▶ Free-chilling
- ▶ Thermodynamische ontvochtiging



ADIABATISCHE KOELING (ZOMER)

Dit is het principe van de bevochtiging door verdamping dat wordt gebruikt voor de koeling van de lucht die in de zomer de ruimte ingeblazen wordt

- ▶ Eenvoudige oplossing om zonder koelgroep te koelen
- ▶ Vereist de controle van de waterkwaliteit
- ▶ Beperkte efficiëntie



Bron : www.energieplus-lesite.be

Adiabatische koeling kan

- ▶ direct zijn: bevochtigde lucht, direct de ruimte ingeblazen
- ▶ indirect zijn: ingeblazen lucht gekoeld door uitwisseling met de bevochtigde lucht



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

LUCHTVERDELING

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE

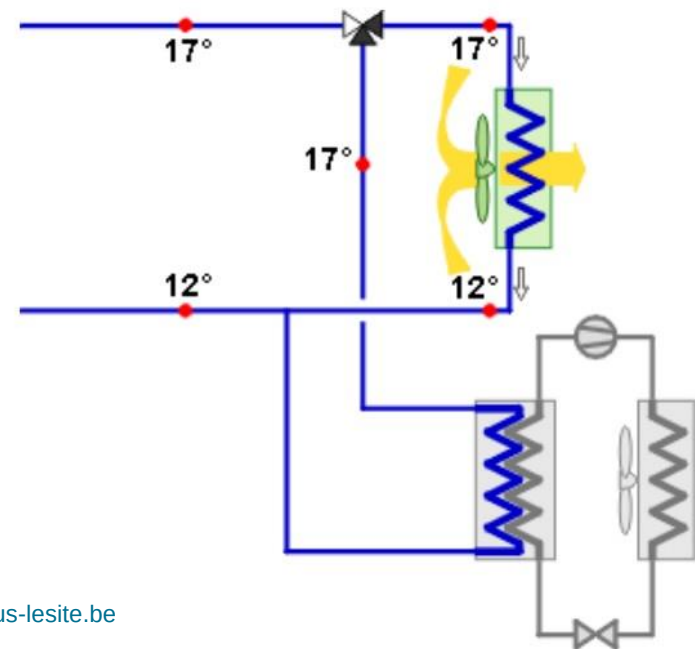
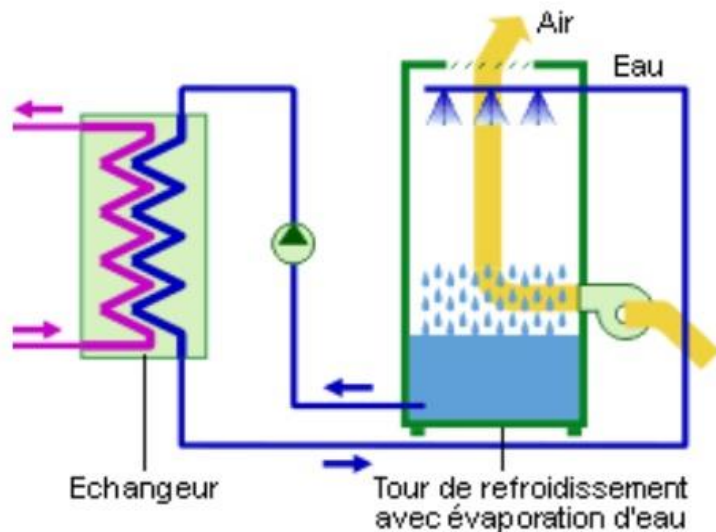
- ▶ Adiabatische koeling
- ▶ **Free-chilling**
- ▶ Thermodynamische ontvochtiging



FREE-CHILLING (WINTER)

Interessante oplossing voor ruimten die in de winter moeten worden gekoeld (informaticaloos, industrieel proces, drukkerij,...)

- ▶ Laat toe het gebruik van de koelgroep te beperken
- ▶ Een principe dat werkt als de temperatuur minder dan 10 °C bedraagt
- ▶ De rendabiliteit moet worden berekend volgens de koudebehoefte
- ▶ De temperatuurregimes liggen hoger (12 – 17 °C)
- ▶ Moeilijk aan te passen bij een renovatie

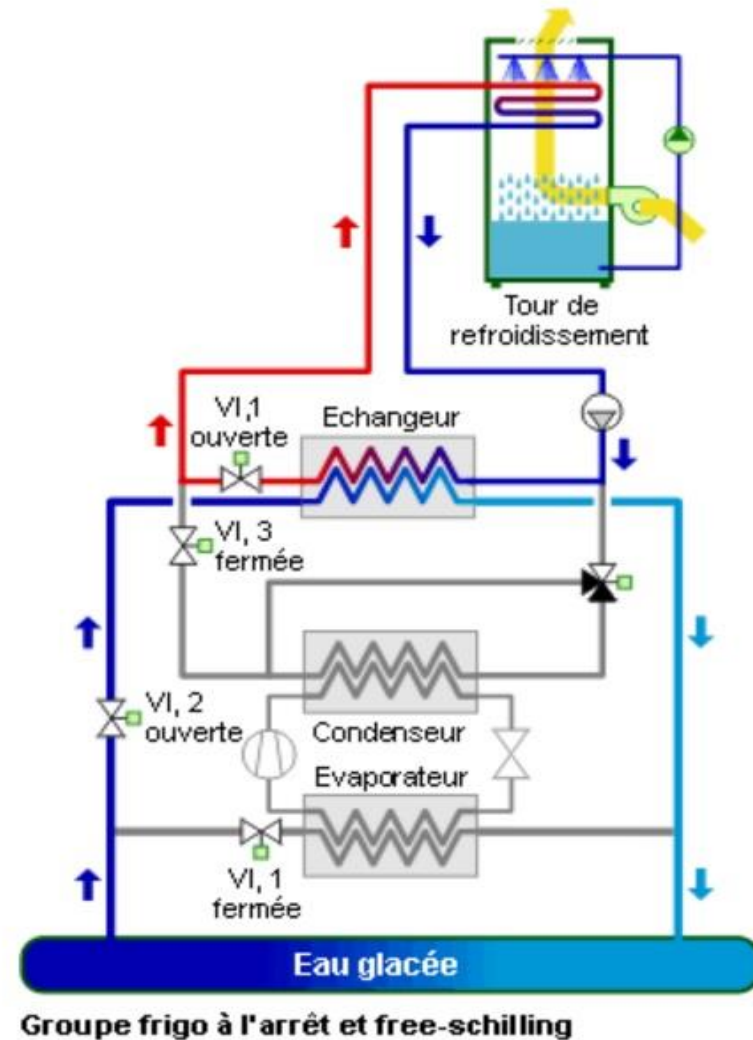
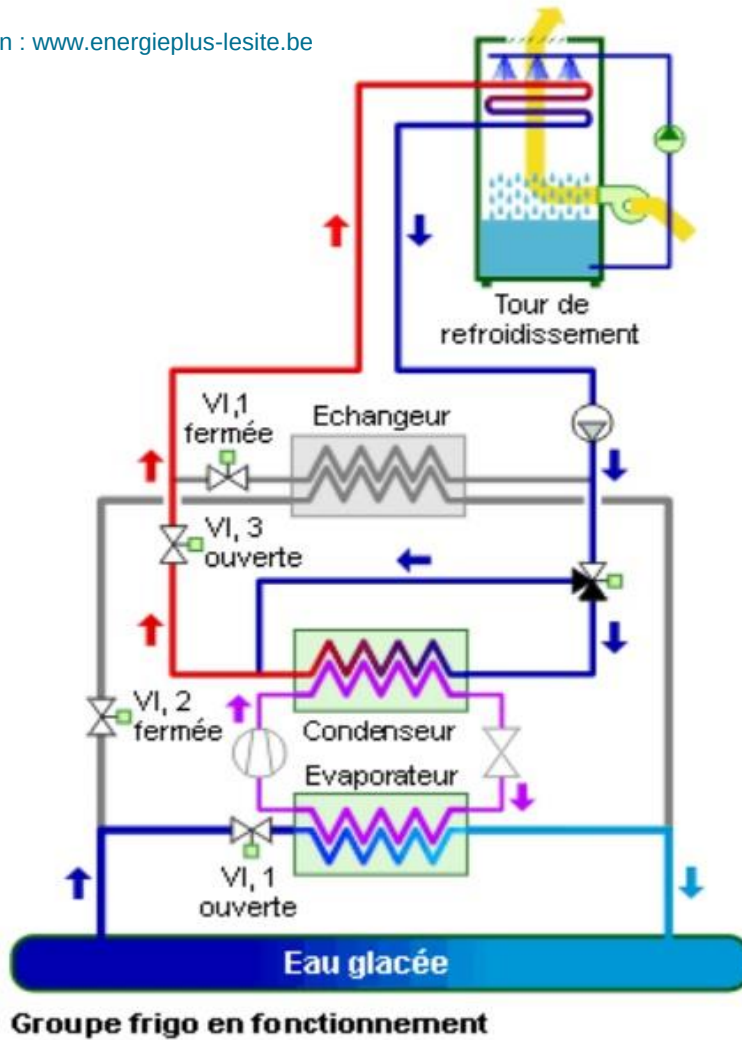


Bron : www.energieplus-lesite.be



Voorbeeld van een installatie in het Centre Hospitalier Bois de l'Abbaye

Bron : www.energieplus-lesite.be



INLEIDING

BEHANDELING VAN DE LUCHT

LUCHTVERDELING

“ALTERNATIEVE” KOUDEPRODUCTIE

- ▶ Adiabatische koeling
- ▶ Free-chilling
- ▶ **Thermodynamische ontvochtiging**



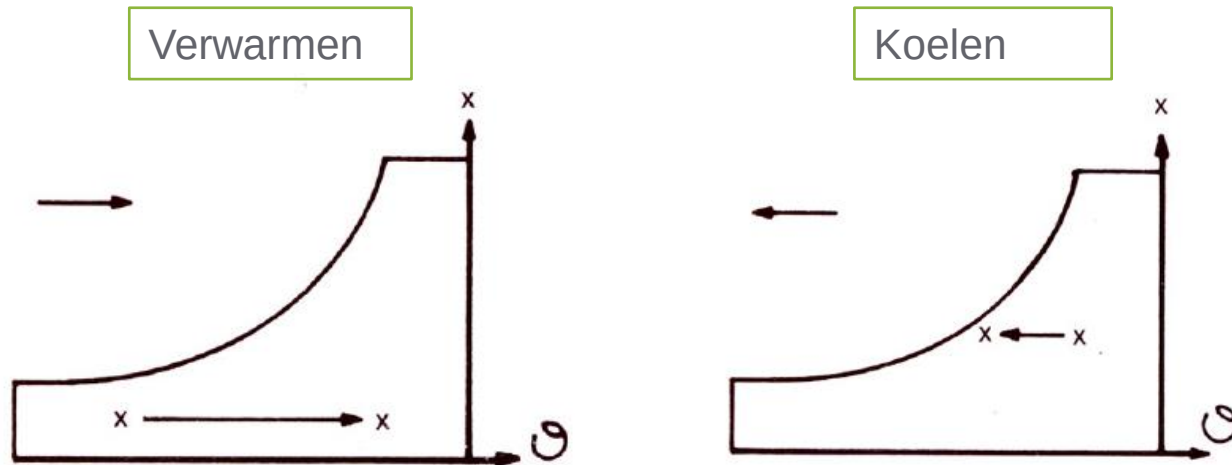
Het koelvermogen om te ontvochtigen wordt door een WP geproduceerd

- ▶ Pertinent met terugwinning van de warmte van de condensor
- ▶ Gelijktijdige behoefte aan warmte- en koudeproductie
- ▶ Toepassingen: openbare zwembaden, ijsbanen, industrie





- ▶ Over klimaatregeling via het lucht moet vanaf de eerste fase van een project worden nagedacht
- ▶ Het behandeling van de lucht beïnvloedt zijn vochtigheid
- ▶ Energieoptimalisatieoplossingen bestaan

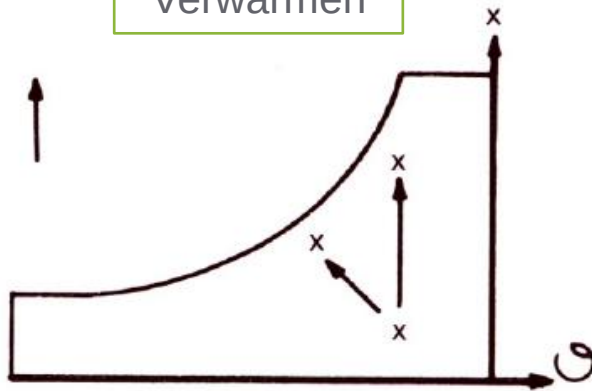


Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza

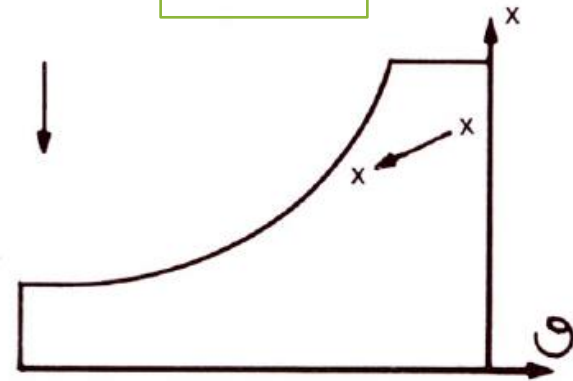




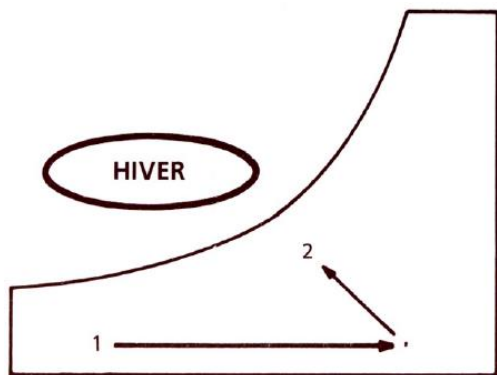
Verwarmen



Koelen

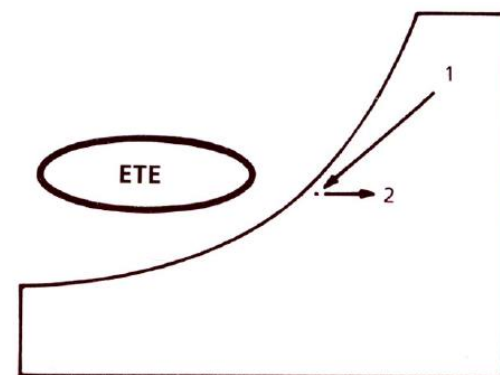


Verwarmen en bevochtigen



HIVER

Koelen en ontvochtigen



ETE

Bron : AFPA – DEAT – F. Cabeza





Gids Duurzame Gebouwen

www.gidsduurzamegebouwen.brussels

- ▶ Ventilatie
- ▶ Koeling



Websites

- ▶ Energie +
 - <http://www.energieplus-lesite.be/>
- ▶ WTCB – Publicaties – Infofiches – Ventilatie van gebouwen
 - <https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=42&art=1>
 - www.dimclim.fr



Pierre GUSTIN

Projectingenieur

écorce sa

 + 32 4 226 91 60 info@ecorce.be

BEDANKT VOOR UW AANDACHT

