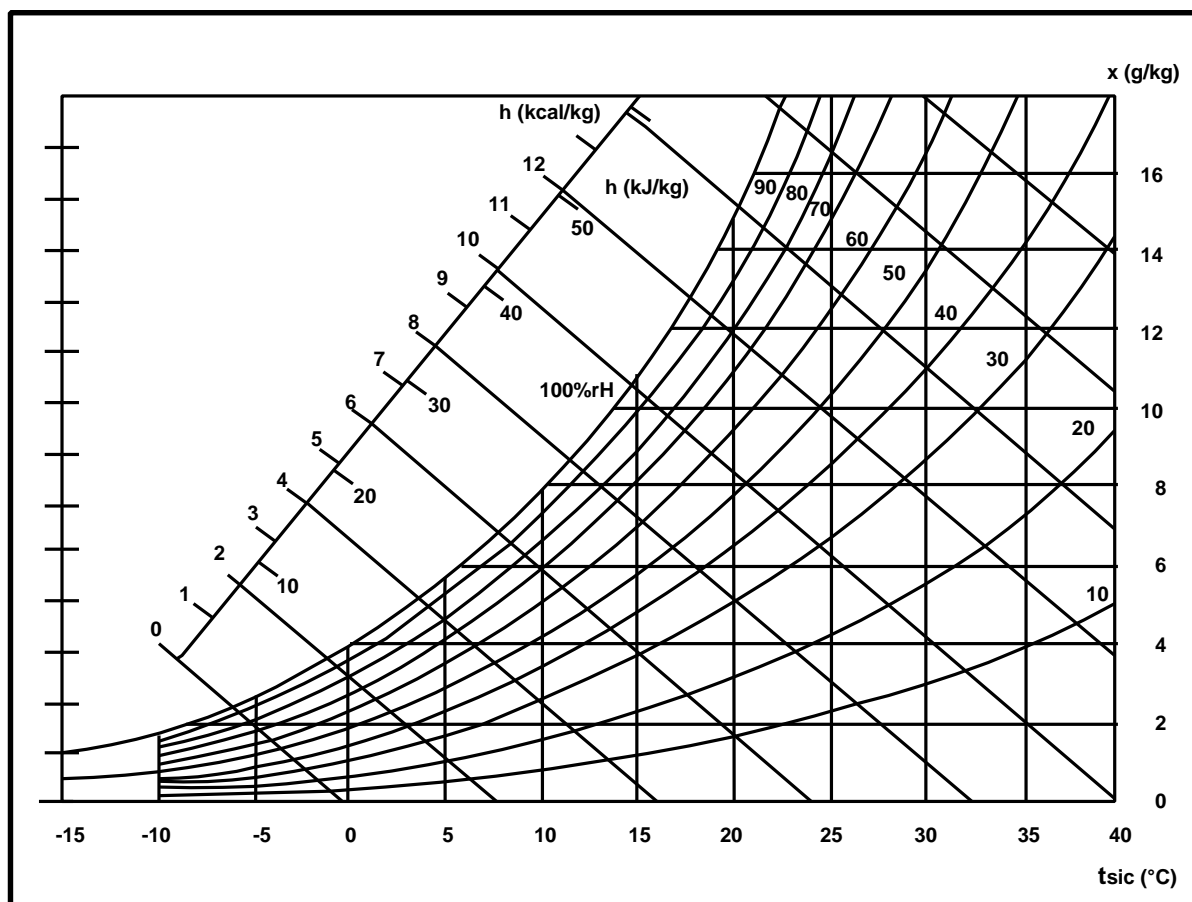


Site WEB HVAC

Des principes à la théorie en passant par la pratique

TOME III

Diagramme Psychrométrique



Notions
Exercices

Préparé par Salvatore Morreale - <http://www.cvc.be.tf> - hvac@ibelgique.com

- Le diagramme psychrométrique -

Les processus et propriétés thermodynamiques relatifs à la technique de climatisation de l'air humide sont aisément calculables:

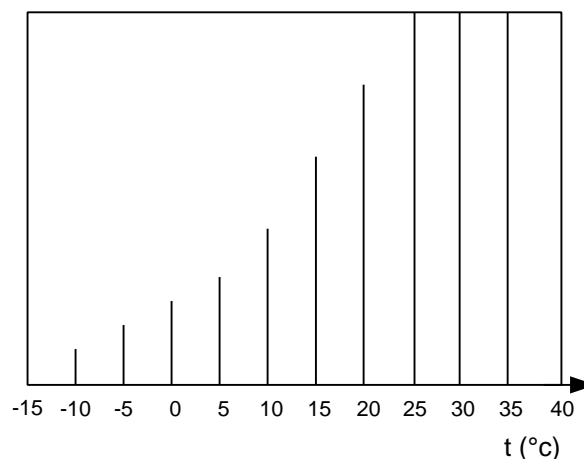
Les calculs requièrent des formules et des tableaux qui rendent souvent le travail inutilement compliqué.

A l'aide du "diagramme psychrométrique" pour l'air humide, la plupart des calculs sont rapidement et simplement effectués. Il existe des diagrammes psychrométriques de diverses exécutions qui ne présentent toutefois pas de grandes différences entre eux. Ainsi avons nous le diagramme de Mollier, le diagramme h, x et le diagramme t, x construits pratiquement de la même manière. Pour le diagramme psychrométrique, il s'agit d'un diagramme t, x dans lequel t est utilisé comme symbole pour la température en °C et x pour la teneur en eau absolue de l'air en g/kg.

Comme les propriétés et les comportements de l'air humide dépendent de la pression barométrique, un diagramme psychrométrique doit toujours être défini sur la base d'une pression barométrique déterminée. Des variations de pression barométriques peuvent être ultérieurement corrigées à l'aide de facteurs de correction.

1. Une échelle de température reportée horizontalement pour le domaine désiré sert comme valeur fondamentale du diagramme psychrométrique. Dans la technique de climatisation cette échelle est étendue de -15 à +40°C.

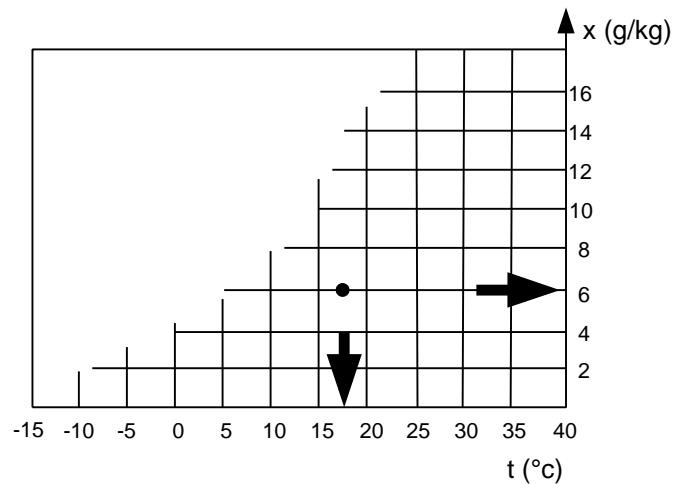
Les verticales vers le haut représentant des lignes accessoires se nomment isothermes, c'est-à-dire lignes à température constante.



- 2 Comme deuxième paramètre important, on reporte en ordonnée l'humidité absolue qui définit entre les gradients de température et d'humidité un plan sur lequel il est possible de fixer la combinaison température-humidité.

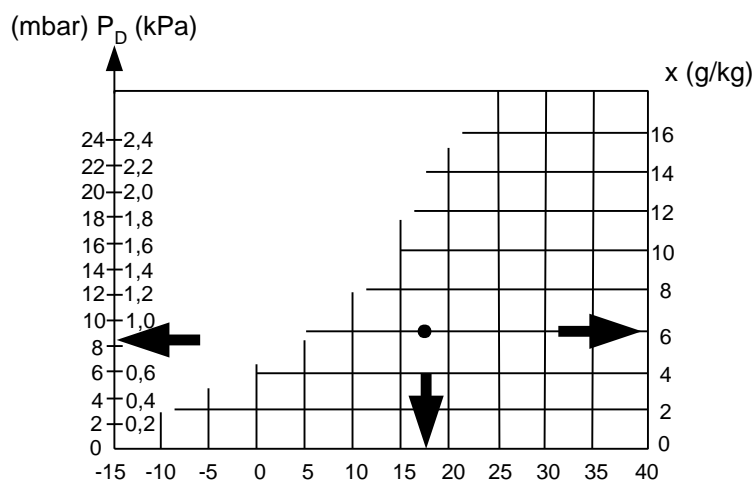
L'unité de grandeur pour l'humidité absolue ou teneur en eau est x exprimé en g d'eau par kg d'air (g/kg). Les lignes horizontales peuvent être appelées lignes à teneur en eau constante. La ligne à teneur en eau absolue $x = 0$ g/kg se confond avec l'échelle de base de température.

On comprend maintenant mieux pourquoi ce diagramme est appelé également diagramme t, x.



3. La thermodynamique enseigne que la pression de vapeur surchauffée, qui sous forme de gaz est mélangée avec l'air, présente une pression de vapeur bien déterminée. Comme cette pression de vapeur représente une partie de la pression de l'air global, elle est appelée également pression partielle. Cette pression partielle est fonction du rapport de mélange de vapeur d'eau de l'air (gaz). Plus la partie de pression de vapeur est importante et plus grande sera la pression partielle.

Comme la teneur en eau est reportée sur le diagramme psychrométrique en g/kg, on peut, parallèlement aux ordonnées sur lesquels la teneur en eau est reportée, indiquer la pression de vapeur partielle P_D en mbar. On peut déjà déterminer sur le diagramme quelle pression partielle une quantité d'eau déterminée a par kg d'air.

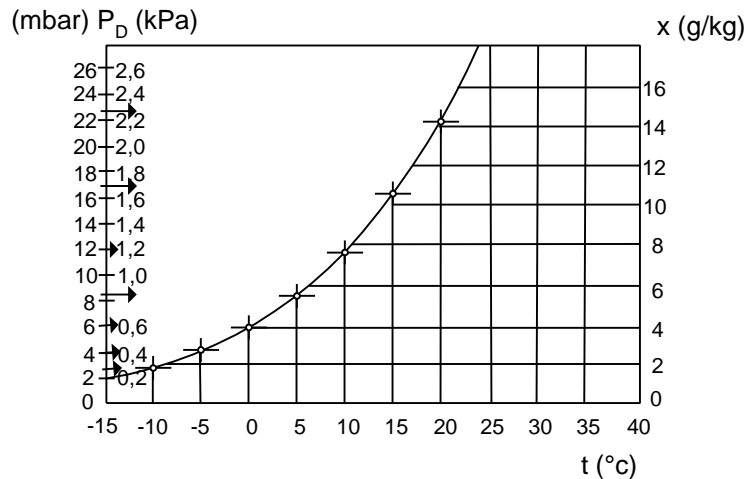


4. La pression partielle et ainsi la concentration de vapeur dans l'eau peut être élevée jusqu'à obtenir la pression de saturation. L'air ne peut plus prendre d'eau dans cet état de surchauffe. Si l'on désire augmenter la pression partielle par augmentation de la quantité d'eau, cette vapeur condensera et un fin nuage de gouttelettes sera visible. Il ne peut plus être surchauffé.

La pression de saturation est fonction de la température et de la pression de l'air. Comme la pression de l'air est considérée comme constante pour chaque diagramme psychrométrique, elle reste sans être prise en considération.

La pression de saturation p_{sat} peut être calculée pour chaque température entre -20 et 100 °C ou bien tirée de tableaux et reportée sur le diagramme psychrométrique.

Si l'on relie les pressions de saturation pour diverses températures, on obtient ainsi la ligne de saturation. L'air ne peut au-delà de chacun de ces points plus prendre d'eau sans qu'une condensation apparaisse. Il est alors à 100 % saturé ou encore, l'humidité relative représente 100 %.

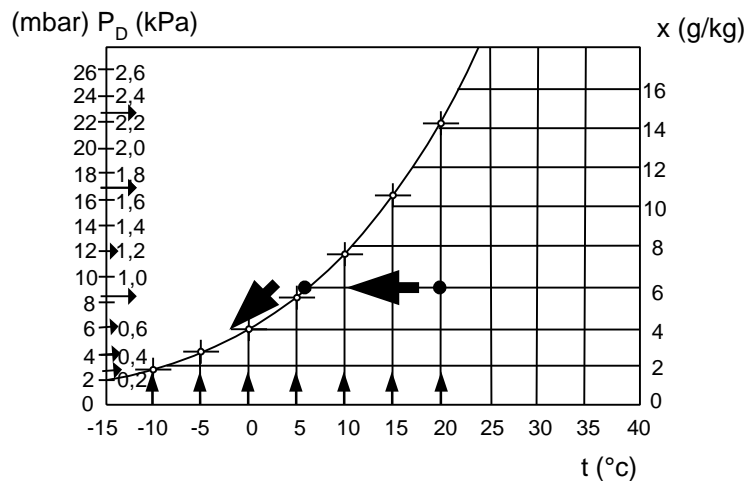


5. Si l'on analyse exactement le diagramme on reconnaît que la ligne de saturation peut être atteinte autrement que par une élévation de la pression de vapeur (teneur en eau).

Si l'on refroidit par exemple de l'air d'une température de 20 °C et d'une teneur en eau absolue de 6 g/kg, il arrive un moment où la température atteinte pour la pression partielle est égale à la pression de saturation. Un refroidissement prolongé conduirait à la formation d'un nuage de gouttelettes.

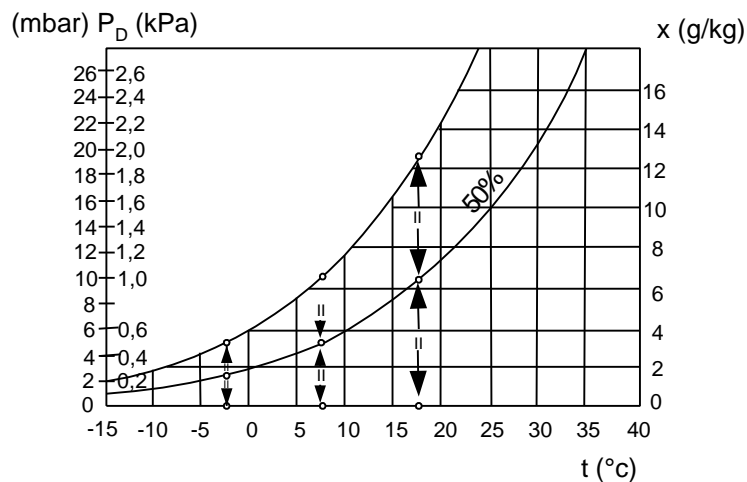
On nomme ce point (pression partielle = pression de saturation) également point de rosée et la température à ce point la température de point de rosée (température de saturation). Un brouillard de condensation se dépose sur les surfaces et les corps aux températures inférieures à la température de point de rosée ou de saturation et des gouttelettes se forment.

Si l'on veut donc déshumidifier un mélange d'air-vapeur d'eau, on doit le refroidir jusqu'à ce qu'il atteigne et dépasse sa température de point de rosée (température de saturation). Plus grand sera le dépassement de point de rosée et plus important sera l'effet de déshumidification.



6. Le long de la ligne de saturation (ligne de point de rosée), l'air est saturé de vapeur d'eau à 100 %. L'humidité relative φ représente 100 %. On peut désigner cette ligne comme ligne à humidité relative constante.

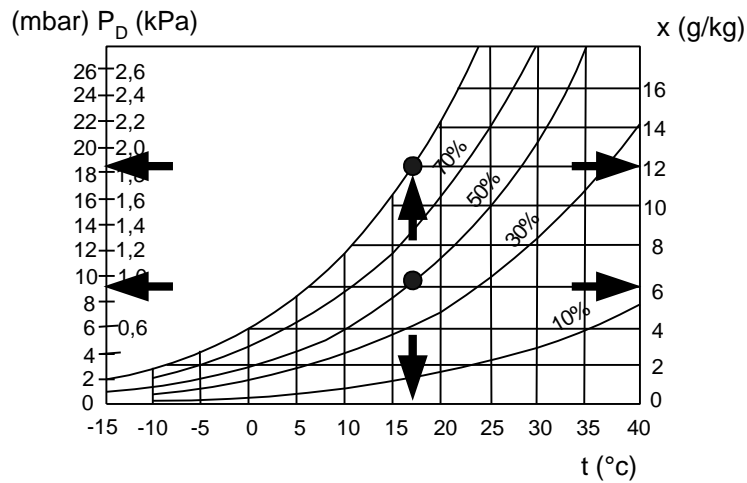
Si l'on divise cette pression de saturation par deux, l'air est à ce point saturé de moitié, c'est-à-dire que l'humidité relative présente à cet endroit 50 %. La liaison de toutes les pressions de saturation divisées par deux, représente de nouveau une ligne à humidité relative constante φ de 50 %.



7. De la même manière on peut construire un réseau de lignes d'humidité relative constante par subdivisions correspondantes dont la distance dépend de la précision désirée.

On peut déjà sur le diagramme, pour un point donné, définir 5 états, par ex.:

t	=	17 °C	Température
x	=	6 g/kg	Humidité absolue
φ	=	50 %	Humidité relative
PD	=	9,0 mbar ou 0,9 kPa	Pression partielle
Psat	=	18,5 mbar ou 1,85 kPa	Pression de saturation
x'	=	12 g/kg	Humidité absolue par saturation



8. L'enthalpie h (quantité de chaleur) se compose de l'enthalpie de l'air et de l'enthalpie de la pression de vapeur.

Comme l'enthalpie de la vapeur est normalement plus importante que celle de l'air, elle joue un rôle non négligeable malgré son faible poids. On considère que l'air à une température t de 0°C et une teneur en vapeur de $x = 0\text{ g/kg}$ a une enthalpie de $h = 0\text{ kJ/kg}$ (0 kcal/kg).

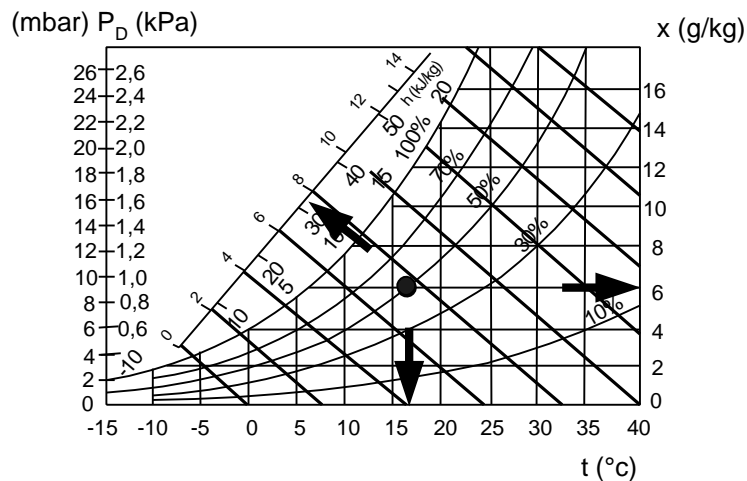
De ce point donné, on peut calculer l'enthalpie pour chaque point du diagramme et où les puissances nécessaires au réchauffement de l'air et au réchauffement de l'eau seront additionnées.

Comme la chaleur d'évaporation sera retirée du mélange existant, l'enthalpie totale ne varie pas. Il y a essentiellement une transformation entre la partie sensible et la partie latente. Cette transformation a pour conséquence un refroidissement du mélange. Si l'on reporte l'enthalpie comme réseau de lignes à enthalpie constante (isenthalpe), le rapport de chaleur sensible sur chaleur latente sera déterminé par la pente.

Etant donné que lors de la construction des isothermes, les différentes chaleurs spécifiques de l'air sec et humide ont été prises en considération, le tracé des isenthalpes se fera par droites parallèles.

La grandeur de l'enthalpie est définie sur une échelle située à angle droit par rapport aux isenthalpes. Sur cette échelle on peut lire l'état défini au point 7.

$$h = 32,3\text{ kJ/kg } 17,75\text{ kcal/kg}$$



9. Une autre désignation dans la technique de climatisation est représentée par la température du bulbe humide ou température du bulbe sec. Si l'on refroidit de l'air par vaporisation d'eau, l'air pourra prendre de la pression d'eau jusqu'à ce que le point de saturation soit atteint.

Etant donné que l'eau vaporisée a déjà la température de l'air, il est nécessaire d'avoir essentiellement de la chaleur latente pour la vaporisation, laquelle est procurée par élaboration de chaleur sensible (retour de température).

On nomme ce point pour lequel la pression de saturation a la même valeur que l'humidification par vaporisation et la température de saturation celle de refroidissement par vaporisation, limite de refroidissement; elle se situe toujours sur la ligne de saturation.

Cette limite de refroidissement s'établit aisément à l'aide d'un thermomètre sur lequel un manchon humide est placé. En provoquant une augmentation de la vitesse de l'air, on force l'évaporation sur le manchon de telle manière qu'à la surface du thermomètre la limite de refroidissement soit atteinte. On nomme alors cette température indiquée par le thermomètre: température humide ou température du bulbe humide.

Si l'air, qui passe à travers le thermomètre, a atteint déjà l'état de saturation, il ne peut plus absorber d'eau et elle ne peut plus s'évaporer. Cela veut dire qu'aucune baisse de température ne peut avoir lieu. La température humide est à l'état de saturation égale à la température sèche.

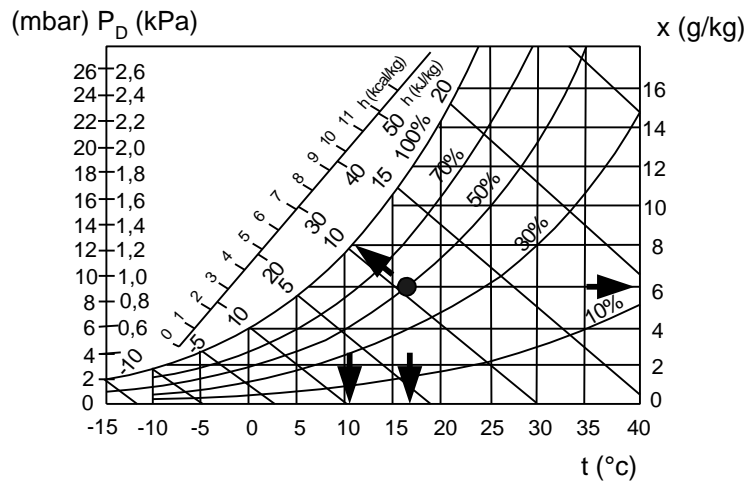
Si l'on veut alors reporter les lignes à température de bulbe humide constante (adiabats) sur le diagramme psychrométrique, on constate que logiquement elles ont les mêmes pentes que les isenthalpes.

Lors de calculs exacts il faut remarquer que lors de la détermination de l'enthalpie de même que pour l'enthalpie de la partie d'eau, on a procédé à partir de 0°C . Pour les adiabats au contraire, il est supposé que l'eau a déjà la température de l'air. Cela provoque une très faible variation de pente des adiabats par rapport aux isenthalpes. L'état défini sous point 7 contient maintenant la grandeur d'état:

thyg = 11 $^{\circ}\text{C}$ (température humide)

A l'aide d'un thermomètre sec et d'un thermomètre humide l'on peut pratiquement mesurer chaque état d'air et, à l'aide du diagramme psychrométrique, les définir.

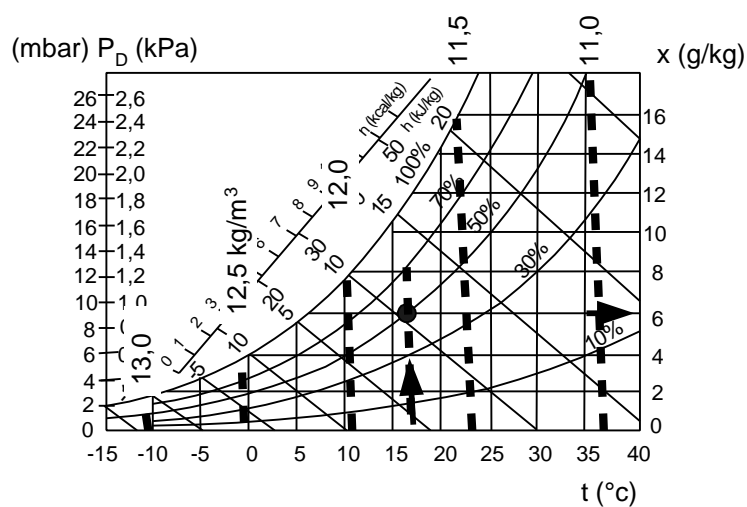
Pour des températures de bulbe humide en dessous de 0 OC, il faut remarquer que la chaleur de congélation influence la pente des adiabates. Elle devient un peu plus plate.



10. Le poids spécifique de l'air humide est fonction de plusieurs critères.

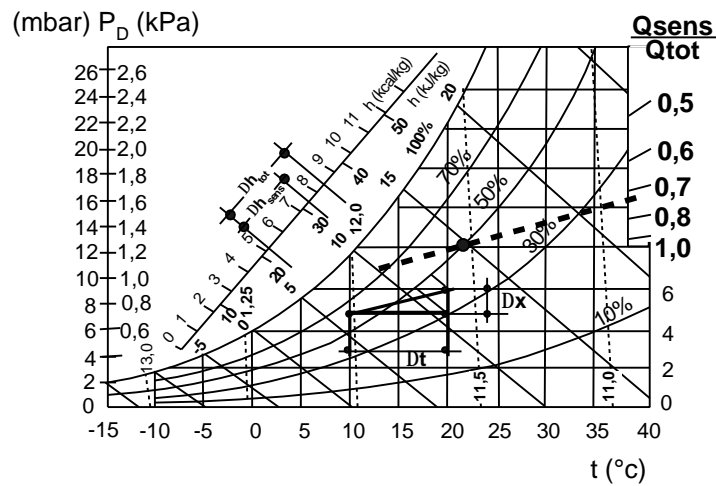
- De la pression barométrique p .
Celle-ci est cependant constante pour un diagramme psychrométrique.
- De la température.
Plus la température de l'air est élevée et plus l'air se dilate, le poids spécifique diminue.
- De la teneur en humidité.
La vapeur d'eau étant plus légère que l'air, le poids spécifique de l'ensemble diminue par une augmentation de la teneur en vapeur d'eau.

Les lignes à poids spécifiques constants doivent donc être orientées vers la gauche. Le poids spécifique de l'exemple sous point 7 peut maintenant être interpolé de la manière suivante: $p = 1,175 \text{ (kg/m}^3\text{)}$



11. Comme les variations d'état dans la technique de climatisation ne se produisent pas la plupart du temps isolément, par exemple refroidir et déshumidifier, un autre paramètre a été obtenu lequel représente une combinaison de chaleur sensible (chauffer, refroidir) et chaleur latente (déshumidifier, humidifier).

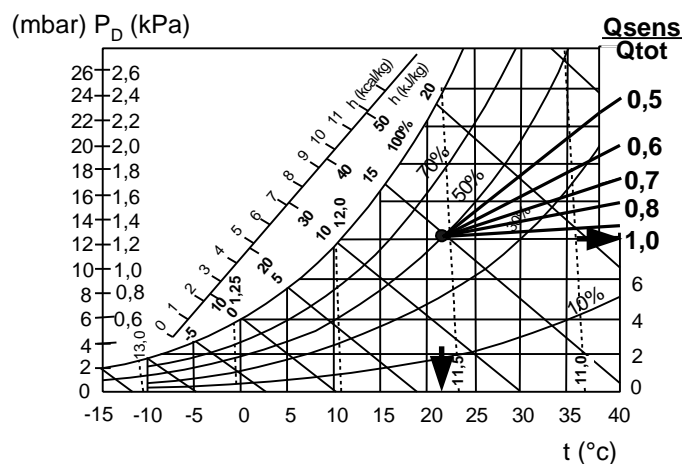
Si par exemple de l'air avec des conditions de départ de $t_1 = 20\text{ °C}$ et $x_1 = 6\text{ g/kg}$ sur $t_2 = 10\text{ °C}$ et $x_2 = 4,7\text{ g/kg}$ doit être refroidi et humidifié, on peut subdiviser la puissance frigorifique en une puissance frigorifique sensible (refroidissement de 20 °C à 10 °C) et en une puissance frigorifique latente (déshumidification de 6 g/kg à $4,7\text{ g/kg}$).



Si l'on divise la puissance frigorifique sensible par la puissance frigorifique totale, on obtient le résultat du cosinus de l'angle qui représente la pente par laquelle la déshumidification se produit. On nomme cette pente également: facteur de chaleur sensible (SHF = Sensible heat factor).

Pour éviter des calculs inutiles, on peut déterminer graphiquement les pentes nécessaires à l'aide d'une échelle (SHF) et d'un point fixe par déplacement parallèle.

Inversement on peut lorsque le SHF est connu, déterminer les pentes nécessaires et de nouveau grâce à un déplacement parallèle faire une projection sur chaque point du diagramme.



La construction du diagramme psychrométrique est maintenant terminée. Grâce à lui, il est possible de définir 10 états de l'air.

1	Température sèche	tsic	°C
2	Humidité absolue	x	g/kg
3	Pression de vapeur partielle	PD	mbar ou kPa
4	Pression de saturation	psat	mbar ou kPa
5	Température de saturation (temp. De point de rosée)	tsat	°C
6	Humidité relative	ϕ	%
7	Enthalpie	h	kJ/kg (kcal/kg)
8	Température du bulbe humide	thyg	°C
9	Densité	ρ	kg/m ³
10	Facteur de chaleur sensible	SHF	./.

