

Humidification

- ❁ Consiste à ajouter de **l'eau** dans l'air
- ❁ Influence considérable sur **certains facteurs physiologiques** et sur **l'environnement**
- ❁ Un taux inapproprié (trop élevé ou trop faible) peut causer une gêne chez les humaines et endommager un grand nombre d'équipements et de matériaux
- ❁ Est invisible mais ces effets s'observent sans difficulté
- ❁ Adéquate = apporte un surcroît de confort et permet de travailler plus efficacement
- ❁ Meilleur rendement si l'humidité relative est maintenue entre 35 % et 55 %
- ❁ Lorsque l'air est sec, l'humidité de la peau s'évapore plus facilement, ce qui produit une sensation de froid, même par des températures de 24 °C ou plus



L'air sec

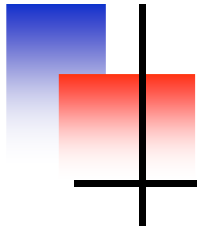
- ❁ Peut être à l'origine de nombreux problèmes coûteux, pénibles et même dangereux
- ❁ Aggrave l'électricité statique qui peut s'accumuler et nuire au fonctionnement d'équipements de production ou de machines électroniques dans les bureaux
- ❁ Dans des atmosphères potentiellement explosives, l'air sec et l'accumulation d'électricité statique qui en résulte peuvent devenir extrêmement dangereux

Maintien de la qualité de l'air = maîtrise du taux d'humidité permet:

- de réduire les coûts en énergie
- d'augmenter la productivité
- d'économiser des frais de main d'œuvre et d'entretien
- de garantir la qualité de produits

L'humidification peut améliorer la qualité de vie et les conditions de travail grâce à

un milieu ambiant plus favorable



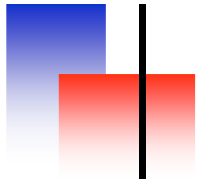
L'air atmosphérique

AIR HUMIDE = AIR SEC + VAPEUR D'EAU

- ✿ Est toujours **chargé d'humidité**, sous forme de vapeur d'eau
- ✿ Est donc un **mélange** constitué **d'air sec (AS)** et de **vapeur d'eau (V)**
- ✿ La composition de l'air sec demeure inchangée
- ✿ La proportion de vapeur d'eau dans l'air est très variable (0-4 % par volume)
- ✿ Les 2 composants se comportent comme un **mélange de gaz parfaits**
- ✿ Sa pression est égale à la somme des pressions partielles de ses 2 composants

$$P = P_{AS} + P_V \quad (1.1)$$

- ✿ La **pression partielle** de la vapeur d'eau = **pression (tension) de vapeur**
- ✿ L'ajout continu de la vapeur à l'air sec mène à la saturation = **air saturé**
- ✿ La **pression saturée (saturante) (P_S)** = pression de vapeur maximale que l'air peut supporter à une T donnée



❁ La **pression saturée (saturante) (P_s)** augmente avec la température (table 1.1) –
l'air chaud peut contenir une quantité considérable d'humidité

❁ À 15 °C, saturation pour 14,8 g de vapeur d'eau/kg AS; à 25 °C, saturation pour 27,4 g de vapeur d'eau /kg AS

**Table 1.1. Pression
de vapeur saturante
de l'eau en fonction
de la température**

$T, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{sat}}, \text{kPa}$	$T, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{sat}}, \text{kPa}$	$T, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{sat}}, \text{kPa}$	$T, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{sat}}, \text{kPa}$
0,01	0,6117	105	120,90	205	1 724,3	280	6 416,6
5	0,8725	110	143,38	210	1 907,7	285	6 914,6
10	1,2281	115	169,18	215	2 105,9	290	7 441,8
15	1,7057	120	198,67	220	2 319,6	295	7 999,0
20	2,3392	125	232,23	225	2 549,7	300	8 587,9
25	3,1698	130	270,28	230	2 797,1	305	9 209,4
30	4,2469	135	313,22	235	3 062,6	310	9 865,0
35	5,6291	140	361,53	240	3 347,0	315	10 556
40	7,3851	145	415,68	245	3 651,2	320	11 284
45	9,5953	150	476,16	250	3 976,2	325	12 051
50	12,352	155	543,49	255	4 322,9	330	12 858
55	15,763	160	618,23	260	4 692,3	335	13 707
60	19,947	165	700,93	265	5 085,3	340	14 601
65	25,043	170	792,18	270	5 503,0	345	15 541
70	31,202	175	892,60	275	5 946,4	350	16 529
75	38,597	180	1 002,8			355	17 570
80	47,416	185	1 123,5			360	18 666
85	57,868	190	1 255,2			365	19 822
90	70,183	195	1 398,8			370	21 044
95	84,609	200	1 554,9			373,95	22 064
100	101,42						

L'humidité

- 🔥 Terme général décrivant **la teneur en vapeur d'eau de l'air**
- 🔥 Type: 1) absolue (H), 2) relative (HR), de saturation (H_S)
- 🔥 1) Absolue (H) = masse de vapeur d'eau contenue dans l'unité de masse d'air sec
(à une T et P données)

$$H = \frac{m_V}{m_{AS}} = \frac{\text{kg vapeur}}{\text{kg air sec}} \quad (1.2)$$

On applique l'équation de gaz parfaits pour les 2 composants de l'air atmosphérique:

$$H = \frac{m_V}{m_{AS}} = \frac{\left(\frac{P_V \cdot V \cdot M_{eau}}{RT} \right)}{\left(\frac{P_{AS} \cdot V \cdot M_{air}}{RT} \right)} = \frac{P_V \cdot M_{eau}}{P_{AS} \cdot M_{air}} = \frac{P_V \cdot 18}{P_{AS} \cdot 29} = 0,6207 \frac{P_V}{P_{AS}} \quad (1.3)$$

Puisque: $P = P_V + P_{AS}$

$$H = 0,6207 \frac{P_V}{P - P_V} \quad (1.4)$$

Cette valeur d'humidité absolue n'indique toutefois pas dans quelle mesure l'air est sec ou humide.

2) L'humidité relative = degré hygrométrique (H_R)

- ♦ **La quantité d'humidité dans l'air agit sur le bien être physique des personnes**
- ♦ **La quantité d'eau contenue dans l'air par rapport à la quantité d'eau maximale que l'air peut contenir à la même température**
- ♦ **Unités = pourcentages**

$$HR (\%) = \frac{m_V}{m_S} = \frac{\left(\frac{P_V V}{RT} \right)}{\left(\frac{P_S V}{RT} \right)} = \frac{P_V}{P_S} \cdot 100 \quad (1.5)$$

L'humidité relative = degré hygrométrique (H_R)

- ❖ faible % si l'air est sec
- ❖ inférieure à 100 % si l'air est humide
- ❖ 100 % si l'air est saturé

🔥 L'humain se porte bien dans un environnement où l'humidité relative varie entre 40 et 60 %

Relation humidité absolue - humidité relative

$$H = 0,6207 \frac{P_V / P_S}{P / P_S - P_V / P_S} = 0,6207 \frac{HR}{P / P_S - HR} \quad (1.6)$$

$$HR = \frac{H \cdot P}{(H + 0,6207)P_S} \quad (1.7)$$

L'humidité de saturation (H_S)

🔥 Est l'humidité absolue à saturation ($P_V = P_S$)

$$H_S = 0,6207 \frac{P_S}{P_{AS}} = 0,6207 \frac{P_S}{P - P_S} \quad (1.8)$$

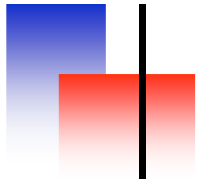


Température (point) de rosée = dew point = T_D

- ❁ **Durant le jour l'air atmosphérique est chauffé et se charge d'humidité**
- ❁ **La nuit, la température de l'air atmosphérique baisse et son humidité relative augmente**
- ❁ **Lorsque l'humidité relative atteint 100 %, la vapeur d'eau se condense**
- ❁ **Le point de rosée = la température à laquelle la condensation commence à se manifester lorsque l'air est refroidi à pression constante = température de saturation de la vapeur**

$$T_{rosée} = T_D = T_{sat, P_V}$$

- ❁ **Le phénomène de condensation de la vapeur d'eau peut être observé sur un contenant de boisson qui sort du réfrigérateur (si T à l'intérieur du contenant est plus petite que T_D)**



❁ À la **pression saturée (P_s)** correspond la température de saturation = point de rosée

P , kPa	T_{sat} , °C	P , kPa	T_{sat} , °C	P , kPa	T_{sat} , °C	P , kPa	T_{sat} , °C
1,0	6,97	101,325	99,97	800	170,41	8 000	295,01
1,5	13,02	125	105,97	850	172,94	9 000	303,35
2,0	17,50	150	111,35	900	175,35	10 000	311,00
2,5	21,08	175	116,04	950	177,66	11 000	318,08
3,0	24,08	200	120,21	1 000	179,88	12 000	324,68
4,0	28,96	225	123,97	1 100	184,06	13 000	330,85
5,0	32,87	250	127,41	1 200	187,96	14 000	336,67
7,5	40,29	275	130,58	1 300	191,60	15 000	342,16
10	45,81	300	133,52	1 400	195,04	16 000	347,36
15	53,97	325	136,27	1 500	198,29	17 000	352,29
20	60,06	350	138,86	1 750	205,72	18 000	356,99
25	64,96	375	141,30	2 000	212,38	19 000	361,47
30	69,09	400	143,61	2 250	218,41	20 000	365,75
40	75,86	450	147,90	2 500	223,95	21 000	369,83
50	81,32	500	151,83	3 000	233,85	22 000	373,71
75	91,76	550	155,46	3 500	242,56	22 064	373,95
100	99,61	600	158,83	4 000	250,35		
		650	161,98	5 000	263,94		
		700	164,95	6 000	275,59		
		750	167,75	7 000	285,83		

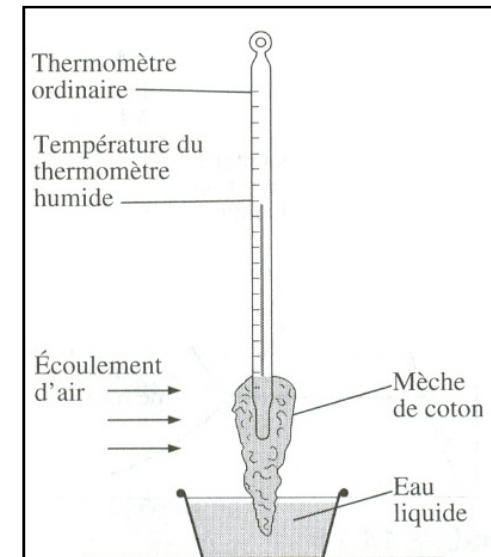
Table 1.2. Variables de la vapeur d'eau saturée table de la pression

Température sèche (dry-bulb) = température du thermomètre sec

- ↳ Valeur lue sur un thermomètre ordinaire dont le bulbe, maintenu sec est placé dans un courant d'air à mesurer
- ↳ = Température de l'air sec, non affectée par l'humidité de l'air

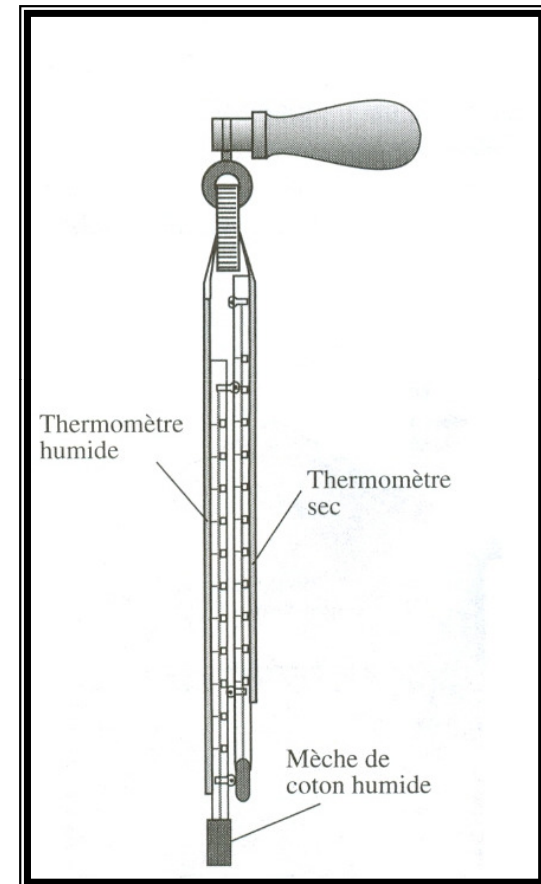
Température humide (wet-bulb) = température du thermomètre humide

- ↳ Valeur lue sur un thermomètre ordinaire dont le bulbe, maintenu humide est placé dans un courant d'air à mesurer
- ↳ Lorsque l'air s'écoule autour de la mèche de coton humide, de l'eau dans le coton s'évapore
- ↳ La température de l'eau descend
- ↳ Après un certain temps, la température de l'eau se stabilise = température du thermomètre humide
- ↳ Toujours plus basse que la température sèche
- ↳ La différence entre la température sèche et celle humide = degré de l'humidité de l'air



Psychromètre à rotation

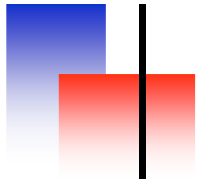
- ↪ Il est constitué de deux thermomètres:un est à bulbe sec et l'autre « à bulbe humide »
- ↪ L'ensemble de ces 2 thermomètres est place dans un boîtier spécial
- ↪ L'écoulement de l'air est obtenue en tournant les 2 thermomètres autour de la poignée
- ↪ Vitesse de l'air : de 4 à 5 m/s
- ↪ On prend ensuite les températures du thermomètre sec et du thermomètre humide
- ↪ En fonction de la différence psychrométrique on trouve dans l'abaque psychrométrique la valeur de l'humidité relative



Volume humide (V_H) = volume total d'air sec et de son contenu de vapeur d'eau par unité de masse d'air sec, assumant un gaz parfait

$$V_H = \frac{V_{AS} + V_V}{m_{AS}}$$

Unités : m^3 air humide / kg AS



- ✓ Chaleur totale = somme de chaleur sensible et de chaleur latente
- ✓ Chaleur sensible = chaleur (énergie) dans l'air atmosphérique due à l'air sec
- ✓ Chaleur latente = chaleur (énergie) dans l'air atmosphérique due à l'humidité

Chaleur sensible : chaleur qui, lorsqu'elle est ajoutée ou enlevée d'un corps, entraîne un changement de température de ce dernier (un thermomètre est « sensible » à cette chaleur)

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (1.9)$$

Chaleur latente (λ) : chaleur qui entraîne un changement de phase lorsqu'elle est ajoutée ou enlevée d'une substance. Cette chaleur n'est pas perçue par un thermomètre, d'où le nom de chaleur latente ou cachée.

$$Q = m \cdot \lambda \quad (1.10)$$

$$Q = n \cdot \lambda \quad (1.11) \quad \text{Unités : kJ}$$

$$Q = Q_{AS} + Q_V = m_{AS} \cdot c_{pAS} \cdot \Delta T + m_V \cdot c_{pV} \cdot \Delta T + m_V \cdot \lambda_V \quad (1.12) \quad m_{AS} = 1 \text{ kg}$$

$$\Delta T = T_a$$

Enthalpie de l'air humide:

$$Q = (1,005 + 1,881 \cdot m_V) T_a + m_V \cdot 2499,6 \quad (1.15)$$