Hygromètre d'ALLUARD

AVERTISSEMENT : *les pages 2 et 4 sont indisponibles. Contacter l'auteur.*

Fonction

➢ **Appareil de mesure** de **l'état hygrométrique** de l'air. Il s'agit d'un hygromètre à condensation, comme nous le verrons en étudiant son fonctionnement.

ALLUARD *Émile (1815-1908) : ancien élève de l'École normale supérieure (ULM), professeur de physique à la faculté des sciences de Clermont-Ferrand dont il deviendra le Doyen, connu pour l'invention d'un hygromètre à condensation et pour avoir fondé l'Observatoire du Puy de Dôme, première station météorologique de montagne.*

Quelques éléments de physique

➢ Pour bien comprendre le fonctionnement de l'appareil, il est nécessaire au préalable, de rappeler quelques définitions et lois fondamentales.

Lorsque la **vaporisation** d'un liquide, c'est-à-dire le passage de l'état liquide à l'état gazeux, se fait au sein du liquide, on est en présence de l'**ébullition**. Si la vaporisation se fait uniquement par la surface de séparation du liquide et de l'air ambiant, on assiste à l'évaporation.

Lorsque, dans une enceinte fermée, le liquide est au contact de sa vapeur, cette vapeur est dite **saturante**. On montre expérimentalement que sa pression est la plus grande qu'elle puisse supporter : c'est la **pression maximale** de vapeur, caractéristique du corps pur et fixe pour une température déterminée. Si on essaie par exemple, à température constante, de diminuer le volume occupé par une certaine masse de vapeur saturante, la pression n'augmente pas parce que de la vapeur se liquéfie.

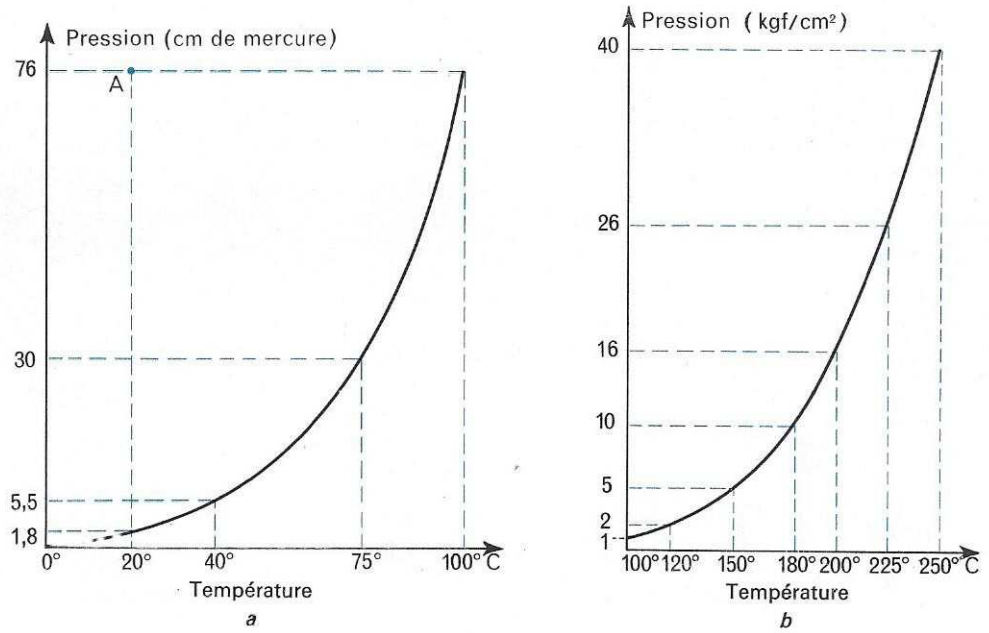

Figure 1*. Courbes de vaporisation de l'eau.*

constantes α, β, γ… qui dépendent des unités choisies et de la plage des températures concernée. Un des exemples les plus connus, est certainement la formule de Joseph BERTRAND, valable entre 0 et 200° C et dérivée de la formule de DUPRÉ avec les logarithmes népériens remplacés par les logarithmes décimaux.

Ou encore :

– de RANKINE : $Log\ P = \alpha' - \frac{\beta'}{T}$,

qui est une simplification de la formule de DUPRÉ avec $\gamma = 0$.

➢ **L'état hygrométrique** caractérise l'humidité de l'air, atmosphérique ou enfermé dans un volume fini. Plus précisément, il est égal au rapport de la masse m de vapeur d'eau contenue dans l'unité de volume du mélange vapeur d'eau – air $V_{T,f} = 1$ cm^3 à la masse m_s de vapeur d'eau saturante contenue dans une même unité de volume, à la même température T :

$$h_u = \frac{m}{m_s}.$$

Il est, par conséquent, égal à 1 lorsque l'air est saturé d'humidité et décroît jusqu'à zéro quand la sècheresse augmente.

En admettant que l'équation caractéristique des gaz parfaits s'applique au mélange vapeur d'eau – air et en notant f la **pression partielle** de la vapeur d'eau sèche (en mm de mercure normal), on sait que pour une masse m constante de vapeur, le produit $\frac{f.V_{T,f}}{T}$ est invariable. Si, dans les conditions normales de température et de pression (273°K, 76 cm de Hg), le volume occupé par cette même masse est $V_{0,76}$, l'invariant précédent permet d'écrire :

$$\frac{760.V_{0,76}}{273} = \frac{f.V_{T,f}}{T} \quad \text{d'où :} \quad V_{0,76} = V_{T,f}.\frac{f}{760}.\frac{273}{T}.$$

Enfin, $\rho_{0,76} = \frac{masse\ molaire\ de\ l'eau}{volume\ molaire\ normal} = \frac{18}{22400} \approx 0{,}622.10^{-3}$ g/cm^3 étant la masse volumique de la vapeur d'eau dans les conditions normales, la masse m est égale à :

$$m = \rho_{0,76}.V_{0,76} = \rho_{0,76}.V_{T,f}.\frac{f}{760}.\frac{273}{T}, \text{ avec } V_{T,f} = 1 \text{ cm}^3.$$

➢ De la même façon, la masse m_s de vapeur d'eau saturante, contenue à la température T dans l'unité de volume du mélange vapeur d'eau-air est égale à :

$$m_s = \rho_{0,76}.V_{T,f}.\frac{P}{760}.\frac{273}{T},$$ P étant la pression de la vapeur d'eau saturante (en mm de mercure normal). Il en résulte que :

$$\boldsymbol{h_u} = \frac{m}{m_s} = \frac{f}{P}.$$

Une tubulure centrale laisse passer un thermomètre **T** qui donnera la température de l'intérieur et des parois du réservoir. La température de l'air ambiant est repérée par un autre thermomètre **T'** (non représenté sur les photographies) qui peut être accroché au bâti.

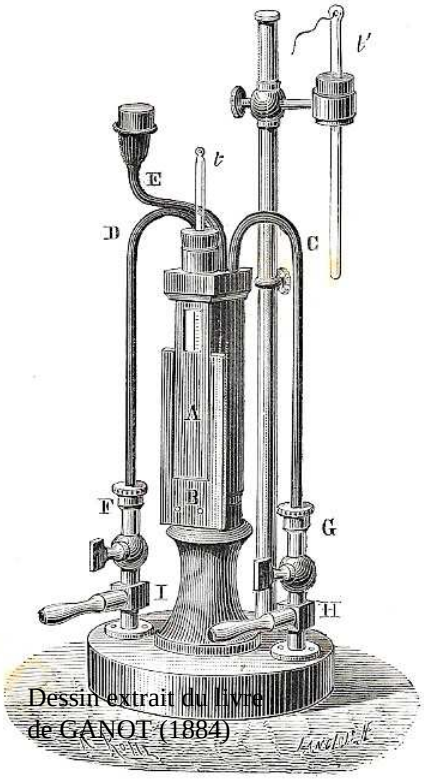

***Figure 3**. Dessin de l'hygromètre d'ALLUARD.*

Expérience

➢ Le tube **E** est muni d'un entonnoir par lequel on introduit de l'éther dans le réservoir.

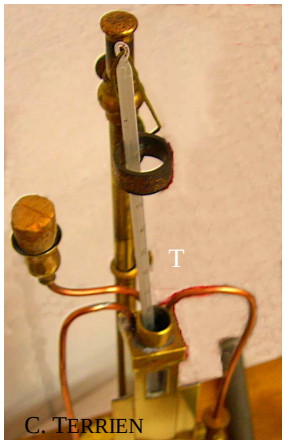

***Figure 4**. Vue de dessus.*

On produit l'évaporation rapide de l'éther et donc le refroidissement du vase soit à l'aide d'un petit soufflet à souffle continu soit à l'aide d'un aspirateur, ces deux dispositifs étant reliés à l'hygromètre par un tube en caoutchouc attaché au bas de C (en G) pour le premier ou au bas de D (en F) pour le second. Deux petites fenêtres permettent de juger de l'agitation que produit dans l'éther soit l'aspiration, soit le refoulement.

L'évaporation de l'éther abaisse la température du vase et la buée finit par apparaître sur **A**. La lame **B**, qui n'est jamais refroidie, conserve toujours le même éclat et le dépôt de rosée s'observe avec netteté grâce à la juxtaposition des deux surfaces polies. On est ainsi au point de rosée dont la température t_R nous est donnée par le thermomètre **T**.

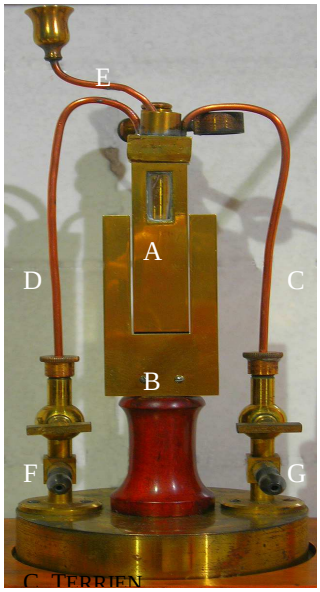

***Figure 5**. Vue de face.*

On déduit de ce résultat ainsi que de la température ambiante t_M et par lecture des tables de Regnault ou à partir des équations des courbes de vapeur comme nous l'avons déjà vu, f et P et donc l'état hygrométrique de l'air.

Il faut préciser que les thermomètres doivent être lus avec une lunette, ce qui permet d'éloigner le manipulateur et la vapeur d'eau qu'il exhale.

Exemple de résultat de lecture

Sur l'exemple de la ***figure 2*** : $t_R \approx 26$°C et $t_M \approx 52$°C.

Par lecture de la table ci-dessous, on déduit : $f \approx 3364$ Pa et $P \approx 13632$ Pa.

Avec l'équation approchée d'ANTOINE :

$$\log f = 8{,}07131 - \frac{1730{,}63}{233{,}426+26} \approx 1{,}4003 \text{ d'où } f \approx 25{,}14 \text{ mmHg} \approx 3351 \text{ Pa, et}$$

$$\log P = 8{,}07131 - \frac{1730{,}63}{233{,}426+52} \approx 2{,}008 \text{ d'où } P \approx 101{,}86 \text{ mmHg} \approx 13578 \text{ Pa,}$$

résultats qui concordent, bien sûr, avec les précédents.

D'où, le degré hygrométrique mesuré : $h_u = \frac{f}{P} \approx 0{,}247$ soit 24,7%.

Phénomènes ou lois physiques mis en jeu

Équilibre liquide-vapeur et **courbe de vaporisation** d'un corps pur.

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

CESSAC J. et TRÉHERNE G., *Physique 2e C*, Nathan, Paris, 1966.

FAUCHER R., *Physique en seconde C & M*, Hatier, Paris, 1965.

GANOT A., *Traité de Physique*, Hachette, Paris, 1884.

BRUHAT G., *Thermodynamique*, Masson & Cie, Paris, 1962.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Pression_de_vapeur_saturante

https://fr.wikipedia.org/wiki/Pression_de_vapeur_saturante_de_l%27eau

Annexe 1

Les unités de pression principales :

$1 N/m^2 = 1$ Pa ;
1 kgf/cm^2 = 98100 Pa $\approx 10^5$ Pa ;
1 cm de mercure normal = 1333 Pa ;
1 atm = 76 cm de mercure normal $\approx$ 101300 Pa $\approx 10^5$ Pa ;
1 bar = 10^5 Pa $\approx$ 1 kgf/cm^2 $\approx$ 1 atm.

Annexe 2

Table ITS-90

La table suivante donne les formules de pression de vapeur saturante de l'ITS-90 .

ITS-90 Température (°C)	Pression de vapeur (Pa)	ITS-90 Température (°C)	Pression de vapeur (Pa)	ITS-90 Température (°C)	Pression de vapeur (Pa)
0	611.213	32	4759.694	68	28599.985
0.01	611.657	34	5325.230	70	31201.894

2	705.973	36	5948.122	72	34001.191
4	813.522	38	6633.128	74	37009.635
6	935.316	40	7385.299	76	40239.470
8	1072.944	42	8209.997	78	43703.430
10	1228.139	44	9112.902	80	47414.751
12	1402.782	46	10100.025	82	51387.177
14	1598.914	48	11177.719	84	55634.969
16	1818.747	50	12352.690	86	60172.910
18	2064.670	52	13632.007	88	65016.317
20	2339.262	54	15023.115	90	70181.042
22	2645.302	56	16533.844	92	75683.482
24	2985.777	58	18172.420	94	81540.588
26	3363.893	60	19947.476	96	87769.863
28	3783.090	62	21868.064	98	94389.378
30	4247.046	64	23943.660	99.97436	101325.000
		66	26184.180	100	101417.770