



PHYSIQUE INDUSTRIELLE**Détermination rapide de l'état hygrométrique
et du point de saturation de l'air.**

L'état hygrométrique de l'air joue un rôle des plus importants dans certaines opérations industrielles, par exemple, dans le travail des textiles, chaque nature de fibre exigeant, pour être travaillée avec un rendement maximum, des conditions bien déterminées de température et d'humidité relative.

De même, dans le domaine de l'hygiène, on sait que notre organisme est incommode si l'air est trop sec ou trop humide.

Il est donc indispensable de pouvoir, à chaque instant, contrôler la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air par comparaison avec la quantité maximum que l'air contiendrait s'il était saturé.

Dans la plupart des traités de physique, une bien faible part est réservée à l'hygrométrie. L'instrumentation décrite, si elle peut être employée dans les laboratoires par des praticiens exercés, ne saurait pas toujours être utilisée par les techniciens ou par les personnes s'occupant des questions d'hygiène; souvent, les appareils décrits exigent beaucoup de temps pour les expériences.

C'est pourquoi il nous a paru intéressant de faire connaître, dans cette revue, une méthode simple et précise ainsi que des instruments d'une grande précision scientifique permettant de calculer très rapidement, soit l'état hygrométrique de l'air, soit la température de son point de rosée. Le maniement de ces instruments est d'ailleurs à la portée de chacun et ne présuppose pas d'études chimiques spéciales.

Un bon hygromètre doit remplir les conditions suivantes :

- 1° Etre d'un maniement facile et à la portée de tous;
- 2° Permettre d'obtenir rapidement la fraction de saturation de l'air ou la température de son point de rosée;
- 3° Fournir des indications avec une grande approximation.

Les instruments d'hygrométrie les plus propres à remplir ces conditions sont le *psychromètre* et les *hygromètres à condensation*.

Psychromètre. — Celui-ci sera essentiellement constitué par deux thermomètres à mercure très exacts, d'une très grande sensibilité, avec lesquels il est facile de lire les dixièmes de degré. Les réservoirs de ces thermomètres seront de forme allongée, dans le but d'augmenter leur sensibilité. Un de ces réservoirs est entouré d'une mousseline très légère, en coton, que l'on humecte avec de



ULTIMHEAT de l'eau de pluie. Avec les températures marquées sur des hygromètres, il est possible de calculer très rapidement la fraction de saturation de l'air. Il est à remarquer que plus l'air sera agité, plus l'évaporation de l'humidité de la mousseline sera rapide et l'abaissement de la température du thermomètre sera évidemment sous la dépendance de cette évaporation. La formule psychrométrique à employer doit donc tenir compte du facteur vitesse de l'air.

Si l'on désigne :

Par P, la tension de la vapeur saturant l'air à t' degrés,

Par p, la tension de la vapeur d'eau de l'air ambiant à t degrés C,

Par t et t' , les températures marquées par les thermomètres à boule sèche et à boule humide,

Par A, un coefficient variable avec la vitesse de l'air ambiant,

Par B, la pression barométrique moyenne du lieu d'observation, on a :

$$p = P - A(t - t')B,$$

formule qui exprime que la chaleur reçue par le thermomètre mouillé [laquelle est proportionnelle à la différence $(t - t')$] est égale à la chaleur enlevée par l'évaporation.

Connaissant la valeur de p, il est facile de déterminer l'humidité relative, en divisant cette valeur par le chiffre indiquant la tension de la vapeur de l'air saturé à la température de t degrés.

Or, le facteur A varie surtout avec la vitesse de l'air. D'après les expériences de Recknagel (*), pour les vitesses élevées de l'air ambiant, on aurait :

$$A = 0,00065,$$

Dans l'air immobile d'un appartement, ce savant a trouvé :

$$A = 0,00110.$$

Recknagel indique la formule suivante pour la valeur du coefficient A en fonction de la vitesse v de l'air (en mètres par seconde) :

$$A = 0,00001 \left(65 + \frac{6,75}{v} \right)$$

Les tables psychrométriques les plus habituellement employées sont celles de C. Jelinek (**); ce sont d'ailleurs les plus complètes que l'on connaisse, puisqu'elles donnent les états hygrométriques et les tensions de vapeur pour toutes les températures jusqu'à 40° au-dessus du zéro, et de dixième en dixième de degré. Elles ont été calculées en supposant pour A la valeur 0,0008; ce qui correspond à une vitesse de l'air supposée de 0,45 par seconde, étant admis pour B la valeur de 755 mm. de pression barométrique.

Dans les observations de dehors, sous abri, la valeur de 0,0008 donnée à A est souvent trop forte; il faut admettre pour ce coefficient le chiffre 0,00072, lequel suppose pour l'air une vitesse d'un mètre par seconde.

L'exemple suivant va mettre en relief l'importance du facteur vitesse de l'air ambiant, ce dont on ne tient pas assez compte dans la pratique courante.

Supposons un vent de 10 mètres par seconde, un état barométrique de 740 mm. et 16; et 10° les températures marquées par les deux thermomètres; la formule donnée ci-dessus conduit à une valeur de l'état hygrométrique égale à 15,6 %.

Dans l'hypothèse d'un vent d'une vitesse atteignant seulement 0,50 à la seconde, on trouverait 8,5 %, comme humidité relative. On voit que la différence est assez importante.

Nous sommes ainsi fixés sur la valeur des indications fournies par ces psychromètres placés dans les appartements ou dans les ateliers, à poste fixe, dans une atmosphère calme. Si l'on tient compte du fréquent défaut de propreté de la mousseline entou-

rant le réservoir du thermomètre humide, on voit avec quelle approximation on peut enregistrer les résultats obtenus.

Afin de lever la principale cause d'erreur dans l'usage de la formule psychrométrique, un constructeur d'appareils scientifiques, Will. Lambrecht (de Goettingue), a construit un instrument assez portatif et très pratique, auquel il a donné le nom de psychromètre à aspiration, qui indique, en moins d'une minute, les températures exactes permettant, avec les tables de Jelinek, d'obtenir la fraction de saturation de l'air d'un milieu à moins de 1 % près.

Cet instrument (fig. 1) se compose essentiellement de deux thermomètres à mercure, à réservoir allongé, supportés par une monture qui permet instantanément de les mettre en place et de les enlever. Les réservoirs sont dans l'intérieur d'un cylindre où fonctionne un petit ventilateur hélicoïdal, mis en jeu par un système de roues dentées et par un cordon métallique souple, en spirale, lequel permet, dans n'importe quelle position, de transmettre le mouvement de rotation, que l'on produit en tournant une petite manivelle.

L'instrument est combiné de telle façon que, pour un tour de manivelle par seconde, l'air se déplace en frappant les réservoirs des thermomètres avec une vitesse d'environ 0,50 par seconde.

Il est alors possible de faire emploi des tables de Jelinek, car si, dans la formule :

$$A = 0,00001 \left(65 + \frac{6,75}{v} \right),$$

on donne à v la valeur de 0,45, on obtient :

$$A = 0,0008,$$

c'est-à-dire précisément la valeur admise par Jelinek dans ses tables servant à déterminer les états hygrométriques en fonction des températures t et t' .

A défaut de tables, on peut utiliser la formule :

$$p = P - A(t - t')B,$$

en supposant au produit $A \times B$ la valeur de 0,60 pour l'état barométrique moyen

755 mm. La valeur trouvée serait un peu différente pour des stations dont l'état barométrique s'éloignerait de 755 mm. Cependant il est facile de s'assurer que, dans la formule, la pression barométrique a une moins grande influence que les autres fac-

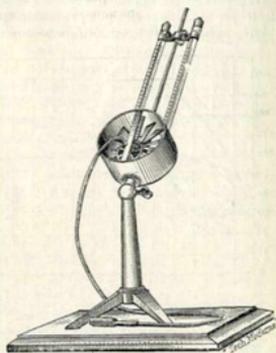


Fig. 1. — Psychromètre à aspiration.

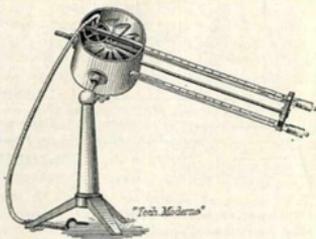


Fig. 2. — Psychrometographe.

(1) Recknagel : *Experimental Physik*, 2, Aufl., 1888, p. 320.

(2) Psychrometer : *Tafeln für das hunderttheilige Thermometer nach H. Wild's Tafeln*, bearbeitet von C. Jelinek.

teurs. Ainsi, au lieu d'une pression barométrique de 755 mm., si l'on n'avait que 715 mm., l'humidité relative calculée varierait de 48 % à 50 %.

Le psychromètre à aspiration permet très rapidement de calculer la fraction de saturation de l'air; c'est donc un instrument extrêmement précieux autant pour le technicien que pour l'hygiéniste.

Pour permettre de lire avec la plus grande exactitude possible les indications fournies par l'index des thermomètres, Wilh. Lambrecht a construit un *psychrométrigraphie* (fig. 2); dans cet appareil, les thermomètres portent chacun un index mobile se déplaçant dans le liquide du tube gradué.

On comprend qu'avec cette disposition il soit facile de lire à son aise, en s'aidant au besoin de la loupe, les températures prises à un moment donné de l'expérience: le voisinage de l'opérateur n'a plus alors d'influence sur les indications des thermomètres.

On peut construire soi-même un très bon psychromètre à condition de se procurer deux thermomètres gradués au 1/10 de degré. On monte les thermomètres comme l'indique la figure 3. Un réservoir d'eau tient constamment humide la mousseline enveloppant la cuvette de l'un des thermomètres.

Pour des indications momentanées, on peut fort bien supprimer le réservoir humecteur. Mais, avec cet instrument il faut avoir grand soin d'agiter l'air ambiant, de façon à lui communiquer une vitesse d'environ un demi-mètre par seconde: ce qui demande un tour de main facile à acquérir.

Indicateurs du point de rosée ou de saturation. Ces appareils indiquent très rapidement à quelle température l'air d'un milieu déterminé devrait être ramené pour que la vapeur d'eau qu'il renferme devienne saturante. Généralement, avec un liquide très volatil, on abaisse la température du réservoir de l'instrument jusqu'au moment où l'on constate la formation d'une buée sur une partie brillante formant miroir; la température lue, à ce moment précis, sur le thermomètre plongeant dans le liquide n'est autre que la température du point de rosée ou de saturation de l'air ambiant.

Dans nos recherches sur l'atmosphère des locaux où l'on travaille les textiles, nous avons employé l'indicateur du point de rosée, de Wilh. Lambrecht représenté par la figure 4. Dans une sorte de capsule contenant de l'éther, dont une des faces constitue un miroir en métal poli, est plongée la cuvette d'un thermomètre contrôlé, très sensible. A l'aide d'une poire de caoutchouc, on insuffle de l'air dans la capsule, provoquant ainsi une rapide évaporation de l'éther, c'est-à-dire le refroidissement progressif s'étendant au thermomètre, qui aura de métal ainsi qu'à l'atmosphère environnante. Lorsqu'un air atteint le point de saturation de cette atmosphère, on distinguera sur le miroir de métal une légère buée, ressortant distinctement du bord du miroir resté brillant.

A ce moment précis, on lira la température marquée par l'index du thermomètre, laquelle n'est autre que la température du point de

rosée de l'atmosphère. Si, en même temps, on dispose un psychromètre indiquant la température de l'air, il est très facile de calculer l'humidité relative: on n'a qu'à se servir des tables donnant les tensions de la vapeur d'eau dans l'air saturé à diverses températures.

La température du point de rosée de l'air est de la plus grande importance pour le maintien de la santé; notre organisme se trouve dans les conditions optima quand cette température est comprise entre 12 et 13° C. Elle ne devrait jamais excéder 19°, car à cette température on éprouve une sensation désagréable, les fonctions respiratoires et la perspiration de la peau s'accomplissent dans de mauvaises conditions.

Malheureusement pour l'hygiène des travailleurs, dans certains ateliers, les filatures du textile par exemple, on est dans l'obligation d'élever cette limite vers 23° C., et encore pour ne pas excéder une telle température doit-on avoir recours à des installations de ventilation rafraîchissante (ventilation et humidification combinées). La nécessité de maintenir élevée la fraction de saturation de l'air est cause de la grande difficulté éprouvée pour abaisser convenablement la température du point de saturation.

Avec l'indicateur du point de rosée, il est possible d'être promptement renseigné sur le degré de plus ou moins grande viciation de l'air des atmosphères confinées, à condition que, d'une façon artificielle, on n'augmente pas la proportion de vapeur d'eau contenue dans l'air.

Supposons un local clos de toutes parts, où la seule cause de viciation de l'air est due à la présence des individus qui y séjournent. Si la ventilation de ce local laisse à désirer, il est clair que 1 m³ d'air pris au dehors et 1 m³ de l'air de l'atmosphère confinée ne contiendront pas, à une même température, un même poids de vapeur d'eau. En effet, la ventilation de toute enceinte fermée a pour résultat de mettre son atmosphère en communication permanente avec l'air extérieur, de façon qu'un échantillon d'air prélevé en n'importe quel endroit du local ait le même degré de pureté que celui de l'atmosphère extérieure.

Soit un volume V d'air extérieur dont la température est t; en pénétrant dans le local de température t', ce volume V devient:

$$V' = \frac{V(1 + \alpha t')}{(1 + \alpha t)}$$

d'après les lois de Mariotte et de Gay-Lussac. Dans cette formule, α (coefficient de dilatation de l'air) = $\frac{1}{267}$.

Par l'emploi de cette formule, il sera facile de calculer ce que deviendra le volume V d'air pris au dehors par la ventilation et pénétrant dans l'enceinte fermée supposée à la température t'.

Quelle que soit la différence des températures t et t' (de l'air du dehors et de l'air du local), il est facile de voir qu'un volume déterminé d'air pris au dehors aura la température de son point de rosée qui ne subira pas de variation lorsque, de la température t il sera porté à la température t'; cela résulte directement de la définition même de la température du point de rosée, laquelle n'est autre que la température de l'air dont la vapeur d'eau qu'il renferme est devenue saturante. Les facteurs température et humidité relative varieront, mais le point de saturation sera toujours le même tant que l'on n'augmentera pas artificiellement, ou par la présence des individus, la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air à une température déterminée.

Nous pourrions donc formuler la règle suivante aisée à retenir: *Si, dans un local fermé où le personnel est appelé à séjourner, le renouvellement de l'air est assuré de telle manière qu'il présente un maximum de pureté, on ne constatera qu'une différence de tout au plus quelques dixièmes de degré entre les températures du point de saturation de l'air du milieu confiné et de l'atmosphère extérieure.*

Cette règle est aisément applicable pour contrôler l'état de pureté d'une atmosphère confinée.

PAUL BELLON,
Inspecteur départemental du Travail.

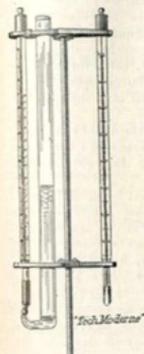


Fig. 3. — Psychromètre ordinaire à réservoir humecteur.

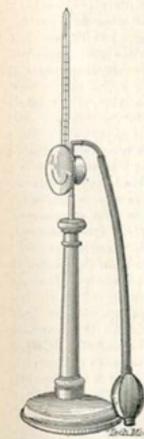


Fig. 4. — Nouvel indicateur du point de rosée.