

## Définitions et concepts

Du taux d'humidité de l'air dépendent aussi bien le bien-être physiologique de l'homme que de nombreux procédés techniques. Les mesures expriment l'hygrométrie soit en **humidité absolue**, soit en **humidité relative**.

### Pression de vapeur saturante $p_s$

L'air humide, comme tout gaz humide; est un mélange de gaz sec et de vapeur d'eau obéissant à la loi de Dalton. Un volume donné d'un gaz sec ne peut absorber pour une température donnée, qu'une certaine masse de vapeur d'eau. A cette valeur correspond la pression de vapeur saturante  $p_s$  fonction de la température.

La relation entre la pression de vapeur saturante  $p_s$  et la température  $t$  est une caractéristique naturelle pouvant être décrite dans la pratique, pour les températures au dessus de 0°C (au-dessus de l'eau), par l'équation suivante en première approximation:

$$\ln p_s [\text{mbar}] = \ln 6,11213 + \frac{17,5043 \cdot t [^\circ\text{C}]}{241,2 + t [^\circ\text{C}]}$$

Pour les températures en-dessous de 0°C (au-dessus de la glace), l'équation est la suivante:

$$\ln p_s [\text{mbar}] = \ln 6,11213 + \frac{22,4433 \cdot t [^\circ\text{C}]}{272,19 + t [^\circ\text{C}]}$$

Dans cet état, le gaz est caractérisé comme saturé.

### Pression de vapeur partielle $p_D$

Si la masse de vapeur d'eau contenue dans le gaz est moins importante, nous avons à faire à un gaz humide insaturé d'une pression de vapeur partielle  $p_D$ . La pression totale du gaz vaut alors:

$$p = p_D + p_G$$

### Humidité absolue $d_v$

La masse d'eau effective contenue dans l'unité de volume de gaz humide s'appelle l'humidité absolue  $d_v$ . Elle correspond donc au volume spécifique et peut se calculer grâce à l'équation d'état des gaz.

$$d_v [\text{g}/\text{m}^3] = \frac{m_D}{V} = \frac{p_D [\text{mbar}]}{461,9 \cdot (273,15 + t [^\circ\text{C}])}$$

## Fiche produit N° A0 Technique de mesure de l'humidité Définition, concepts, procédé de mesure

### Taux d'humidité ou rapport de mélange $x$

Dans de nombreux secteurs de l'industrie, on préfère plutôt se baser sur l'état sec d'un gaz que sur son état humide. C'est pourquoi on a introduit la notion de taux d'humidité ou de rapport de mélange  $x$ . Il se définit comme étant la masse d'eau contenue par unité de masse du gaz sec et il dépend, contrairement à l'humidité absolue, de la pression de gaz et du type de gaz.

Il s'exprime pour l'air par la formule suivante:

$$x [\text{kg} / \text{kg}] = \frac{m_D}{m_G} = \frac{0,622 \cdot p_D}{(p - p_D)}$$

### La température du point de rosée $t_s$

L'état d'un gaz humide se caractérise également par la température du point de rosée  $t_s$ . Elle correspond à la température à laquelle le gaz humide se trouve à l'état saturé, c.-à-d. la température à laquelle le gaz devrait être refroidi pour qu'il ne puisse plus absorber d'eau et que la condensation de l'eau qu'il renferme puisse commencer. La relation entre la pression de vapeur saturante et la température est exprimée par la courbe de pression de vapeur d'eau. Il en découle également qu'à chaque température de rosée correspond une certaine pression de vapeur d'eau et donc une certaine humidité absolue.

### Humidité relative $\varphi$

Une autre grandeur très utilisée dans la pratique est l'humidité relative. Elle correspond au rapport à une température donnée, de l'humidité absolue contenue effectivement dans le gaz sur la plus grande humidité saturante possible:

$$\varphi = \frac{d_v}{d_{vs}} = \frac{p_D}{p_s}$$

L'humidité relative est indiquée en pourcentage ou en chiffre inférieur à 1.

## Procédé de mesure

Tout comme l'humidité peut être représentée par différentes grandeurs de mesure, il existe plusieurs méthodes de détermination de l'humidité, avec différentes précisions.

### Les méthodes hygrométriques

Les procédés hygrométriques se basent sur la variation de longueur de fibres hygroscopiques, en particulier les cheveux ou les fibres synthétiques. Ces hygromètres sont certes peu chers, mais utilisables uniquement sur une plage de mesure limitée. La précision qu'ils permettent d'atteindre est de l'ordre de  $\pm 5\%$  h.r.

### Psychromètre

Les psychromètres travaillent de manière beaucoup plus précise que les procédés hygrométriques. Avec ceux-ci, l'humidité est déterminée à l'aide de l'effet physique du refroidissement par évaporation, par la mesure de deux températures. Un thermomètre mesure la température ambiante et un deuxième la température dite à bulbe humide. Le thermomètre est à cet effet humidifié par une chaussette en coton et soumis à une vitesse d'air de 2 à 3 m/s. L'évaporation ainsi engendrée refroidit le thermomètre et à l'équilibre, il est possible de déterminer l'humidité à partir de la température sèche et de la température de bulbe humide. En utilisant des thermomètres précis et en manipulant avec précaution, il est possible d'atteindre des précisions allant jusqu'à  $\pm 1\%$  h.r.

### Le miroir à point de rosée

Une méthode également très précise est celle du miroir à point de rosée. Une surface réfléchissante est refroidie jusqu'à ce que la température à laquelle la rosée se forme soit atteinte. La température mesurée dans cet état correspond à la température de rosée à partir de laquelle il est possible, avec la température ambiante, de déterminer l'humidité. Ici aussi, l'on peut obtenir des précisions allant jusqu'à  $\pm 1\%$  h.r.

Les deux dernières méthodes de mesure sont certes assez précises, mais aussi plus lourdes et onéreuses.

### Capteurs d'humidité capacitifs

On utilise ces temps-ci toujours plus de capteurs d'humidité capacitifs, lesquels sont économiques et sans entretien, tout en permettant une bonne précision de mesure.

Ces capteurs reposent sur des éléments de capteurs d'humidité capacitifs. On place sur un petit et fin substrat de verre ou de céramique un système d'électrode, une couche polymère sensible à l'humidité et une couche d'or perméable à la vapeur d'eau.

La couche polymère hygroscopique étant en mesure de stocker des molécules d'eau, lesquelles peuvent modifier leur constante diélectrique, ce système de couche représente un condensateur fonction de l'humidité dont la

capacité exprime une mesure de l'humidité relative ambiante. La variation de la capacité est convertie grâce à une électronique située généralement directement sur l'élément de capteur d'humidité, en un signal de sortie électrique. Ces deux parties ensemble constituent un capteur d'humidité capacitif, lequel peut être étalonné à l'aide de références d'humidité. La précision que l'on peut atteindre et qui dépend principalement de l'erreur de linéarité, de l'hystérésis et de la température, se détermine par mesure comparative et se situe aux alentours de  $\pm 2\%$  h.r.

Les éléments de capteurs capacitifs fabriqués par **Mela Sensortechnik** s'utilisent sur toute la plage d'humidité de 0 à 100% h.r., ils sont résistants à la condensation et permettent une utilisation dans les températures allant de -40 à 200°C. Les capteurs d'humidité construits à base de ces éléments balayent également toute la plage de mesure de 0 à 100% h.r. et fonctionnent dans la gamme des températures de -20 à 80°C. Dans des versions spéciales, il est possible de les employer jusqu'à 200°C.

La caractéristique est presque linéaire, les écarts de linéarité sont inférieurs à 2% h.r. En cas d'emploi prolongé à des humidités extrêmement basses ou élevées, une dérive allant jusqu'à 2% h.r. apparaît. Elle disparaît à nouveau en parcourant plusieurs fois toute la plage d'humidité. Une dérive peut également survenir de différentes manières, sous les effets de différents gaz polluants.

Du fait de leur bonne sensibilité de réponse, les capteurs d'humidité capacitifs sont également adaptés à la mesure de l'humidité à l'état d'équilibre pour les matériaux hygroscopiques. En connaissant les isothermes de sorption des matériaux hygroscopiques, il est aussi possible de déterminer ainsi l'hygrométrie des corps solides.

### Calibrage

Afin de conserver une bonne précision de mesure des capteurs d'humidité capacitifs sur une longue période de temps, vous pouvez vérifier régulièrement la caractéristique. A des fins de vérification et de recalibrage des capteurs sur leur lieu d'emploi, **Mela Sensortechnik** offre des **étalons d'humidité** (info produit N°: F 5.2).

Si un étalonnage plus précis est nécessaire, vous pouvez solliciter le **service calibrage** de l'usine. Nous établissons également sur demande un **certificat d'usine** (Rapport de mesure avec écart de la mesure par rapport à la normale, mesurée à 11%, 33%, 57%, 75% et 90% h.r.).