



Mesure de l'humidité

Préambule

Parallèlement à la température, l'humidité est une grandeur de process très importante. L'humidité relative de l'air ambiant, par exemple, a une influence considérable sur notre bien-être et notre santé.

Au niveau des process industriels, le réglage correct de l'humidité est souvent déterminant pour la compétitivité et la qualité des produits. Par ailleurs, le bon réglage du taux d'humidité peut contribuer à diminuer sensiblement la consommation d'énergie.

La liste des domaines d'application, pour lesquels la mesure de l'humidité semble importante, est très longue.

Il est primordial de contrôler l'humidité de l'air là où la vapeur d'eau contenue dans l'air provoque ou influence des réactions chimiques, physiques ou biologiques.

Notions et lois physiques

Composition de l'air

L'air pur et sec se compose des éléments suivants :

azote	78,10 % vol.
oxygène	20,93 % vol.
argon	0,93 % vol.
dioxyde de carbone	0,03 % vol.
hydrogène	0,01 % vol.
ainsi que de petites quantités de néon, hélium, krypton et xénon.	

En dehors de ces composants, l'air ambiant et extérieur comprend un certain nombre de corps gazeux et solides ainsi que de l'humidité sous forme de vapeur d'eau. L'air est donc un mélange homogène de différents gaz et peut être considéré comme «gaz idéal». Le rayonnement solaire et les vents assurent le mélange homogène de ces gaz de nature différente de façon à ce qu'il n'y ait pas de formation de couche, bien qu'ils n'aient pas la même densité.

Loi de DALTON $P = P_1 + P_2 + \dots$

La pression totale d'un mélange gazeux est la somme des pressions partielles et de ses composants. En simplifiant, on peut dire que l'air est constitué d'air sec et de vapeur d'eau,

$$P = P_v + P_{\text{sec}}$$

où P_v est la pression partielle produite par la vapeur d'eau et P_{sec} la somme des pressions partielles de tous les autres gaz.

Pression saturante

En fonction de sa température, l'air est en mesure d'absorber et de stocker une quantité déterminée de vapeur d'eau. La capacité d'absorption augmente avec la température. Pour une température déterminée, la pression de vapeur d'eau produite ne peut augmenter que jusqu'à la limite de saturation qui s'appelle la pression de vapeur d'eau saturante (P_s).

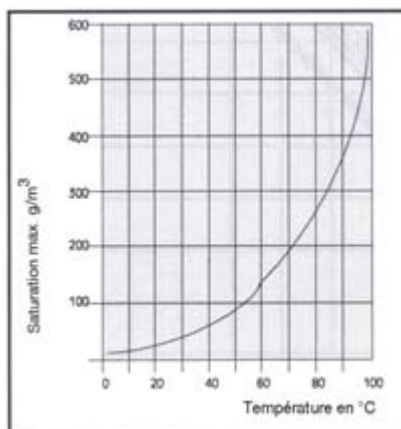


Fig.1 : La courbe de pression de la vapeur d'eau indique la saturation et en fonction de la température, la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air.

La pression ambiante ou la présence d'autres gaz ou impuretés n'a aucune influence sur le comportement représenté ci-dessus.

Point de rosée

Le point de rosée T_d (d pour dew point) est la température, à laquelle l'air est saturé de vapeur d'eau et à laquelle il se produit une condensation en cas d'apport supplémentaire de vapeur d'eau ou de refroidissement de l'air. La vapeur d'eau excédentaire se transforme en pluie, brouillard ou eau de condensation. L'état de saturation est maintenu. La température du point de rosée est assimilable à la température de saturation et peut être de 100°C max. pour une pression normale.

Grandeurs de mesure

Il existe deux grandeurs de mesure pour quantifier l'humidité de l'air. Il convient de faire la distinction entre l'humidité relative et l'humidité absolue.

Humidité relative

On appelle humidité relative le rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans un gaz (P_v) et la pression de vapeur d'eau max. possible, donc la pression de saturation (P_s), pour une température donnée.

$$H_r = 100 \cdot \frac{P_v}{P_s(t)} \quad [\%]$$

L'humidité relative est une grandeur sans dimension. C'est un rapport et elle est indiquée en pourcentage.

Comme le point de saturation dépend uniquement de la température de l'air, l'humidité relative, varie également en fonction de la température. Elle baisse lorsque la température s'élève et augmente lorsque la température baisse.

L'influence des variations de température sur l'humidité relative peut être très importante.

	10°C	20°C	30°C	50°C	70°C
10% H_r	0,7%	0,6%	0,6%	0,5%	0,5%
50% H_r	3,5%	3,2%	3,0%	2,6%	2,3%
90% H_r	6,3%	5,7%	5,4%	4,6%	4,1%

Tab.1 : Influence d'une variation de température de ± 1 K pour différentes valeurs de température et d'humidité.

Humidité absolue

L'humidité absolue (H) indique la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air déterminé.

$$H = \frac{\text{Masse de la vapeur d'eau}}{\text{Volume d'air}}$$

L'unité de mesure de l'humidité absolue est g/m^3 . L'avantage de la mesure de l'humidité absolue réside dans le fait qu'elle permet de quantifier, indépendamment de la température, la teneur en eau effective d'un gaz.

Rapport de mélange ou teneur en eau (r)

Dans ce cas, on indique le rapport entre la masse de la vapeur d'eau et la masse du gaz sec. Les unités de mesure utilisées sont g/kg air sec et $\%$. On indique ainsi combien de grammes de vapeur d'eau sont contenus dans un kilogramme d'air sec. La détermination de la teneur en eau joue un rôle prépondérant dans la technique des procédés, car elle permet des déductions beaucoup plus précises que l'humidité relative. Il y a une relation stable entre les dimensions d'humidité absolue et d'humidité relative, voir fig. 2.

Les unités de mesure de l'humidité absolue peuvent être choisies suivant les besoins.

Les unités courantes sont :

- Point de rosée (température du) °C
- Rapport du mélange g/kg air sec
- Humidité absolue g/m^3

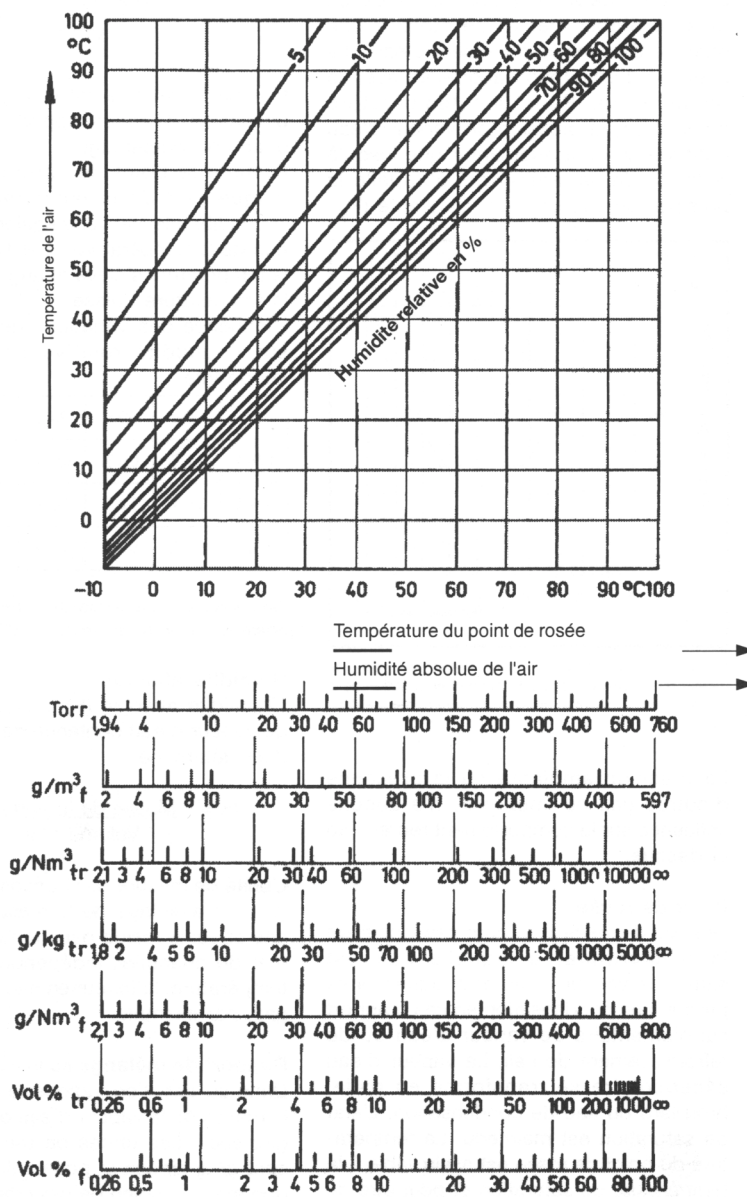


Fig.2 Unités de mesure de l'humidité absolue par rapport à l'humidité relative

Relation entre température, teneur en humidité et humidité relative

Les relations correspondantes sont représentées par le diagramme ci-dessous (voir diagramme Mollier, fig. 3).

Exemple d'utilisation du diagramme

a) Détermination de la teneur en eau "r" et de la pression de vapeur d'eau "e"

Mesures effectuées :

température de l'air 28°C
humidité relative 60 % Hr

Rechercher les valeurs mesurées dans le diagramme et déterminer le point d'intersection A. Tracer une verticale du bord supérieur au bord inférieur en passant par le point d'intersection A. Le point d'intersection avec le bord supérieur indique la pression de la vapeur d'eau $e = 17 \text{ mm Hg}$ et celui avec le bord inférieur indique la teneur en eau $x = 14 \text{ g/kg}$.

b) Détermination du point de rosée

Mesures effectuées :

température de l'air 28°C
humidité relative 60 % Hr.

Déterminer le point d'intersection A comme ci-contre en a)

A partir du point d'intersection A, tracer une verticale jusqu'à l'humidité maximale de 100 % et, à partir de ce point, tracer une ligne jusqu'à l'axe de température (à gauche). Le point d'intersection avec l'axe indique le point de rosée recherché, soit 19,4°C.

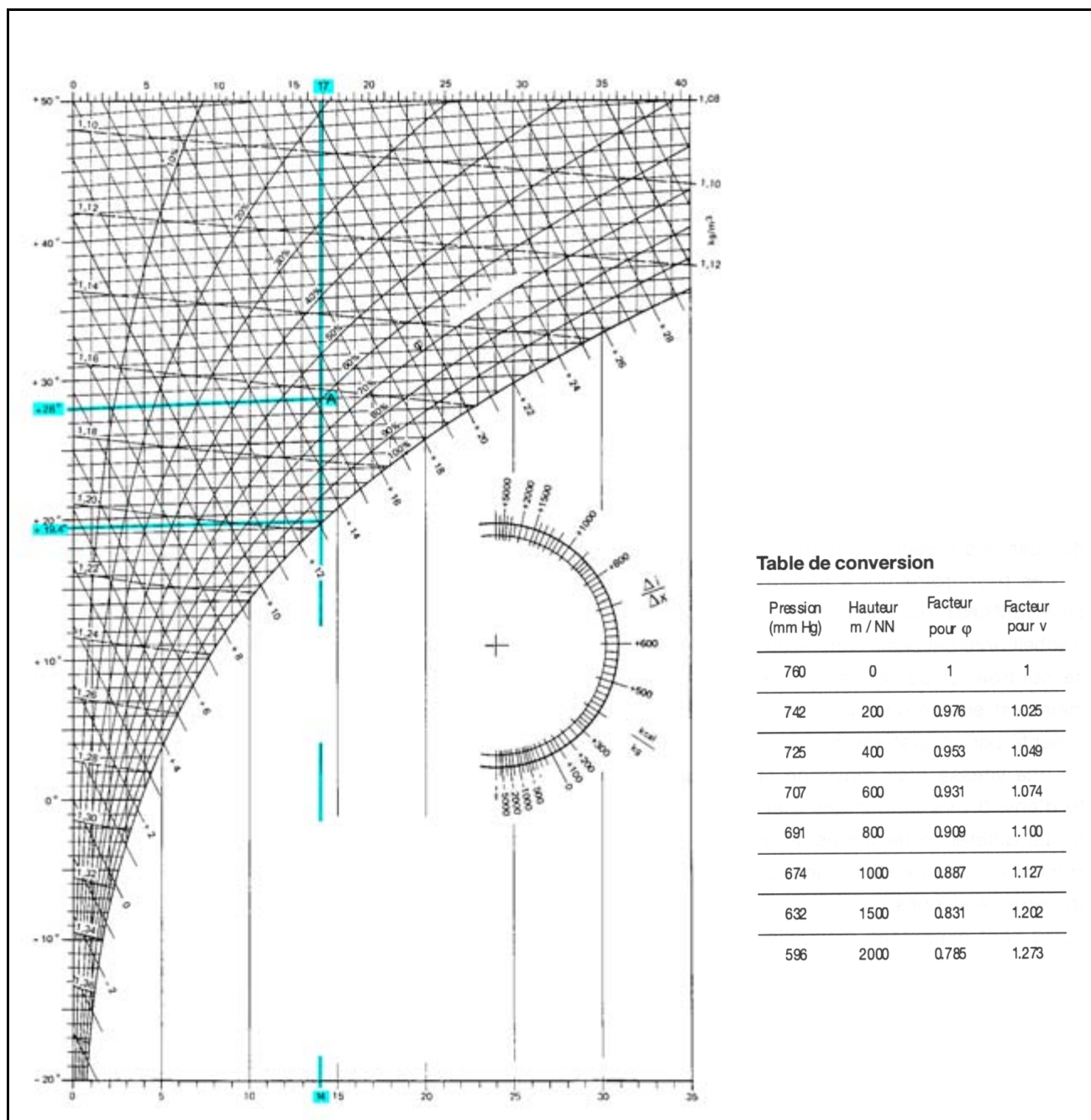


Fig. 3 : Relation entre température, teneur en humidité et humidité relative

Procédés de mesure d'humidité et leurs applications

Différents procédés de mesure peuvent être utilisés pour déterminer l'humidité de l'air. Généralement, l'utilisateur choisit la méthode la mieux adaptée aux conditions de mesure. Bien souvent, il est possible d'obtenir une bonne précision de mesure (ou une précision satisfaisant aux conditions requises) avec un dispositif de mesure simple, mais bien adapté. A titre indicatif, les procédés de mesure d'humidité les plus connus et les plus courants sont décrits ci-après.

Mesure psychrométrique

Ce procédé permet de déterminer directement l'humidité relative. Il est basé sur le principe de l'échange thermique.

Le **psychromètre** se compose essentiellement de deux thermomètres indépendants, l'un étant utilisé comme thermomètre de température sèche et l'autre comme thermomètre de température humide.

Le thermomètre humide est entouré d'un tissu absorbant gorgé d'eau. On fait passer un courant d'air, qui suivant la température et la teneur en humidité de l'air ambiant, provoque une évaporation et l'absorption d'une certaine quantité de vapeur d'eau par l'air ambiant. De ce fait, le thermomètre humide refroidit sensiblement en surface (température du thermomètre mouillé).

Simultanément, la température de l'air ambiant (température sèche) est mesurée par le second thermomètre. La température différentielle psychrométrique ainsi obtenue est une mesure de l'humidité relative de l'air.

Une bonne utilisation du psychromètre permet d'effectuer des mesures d'humidité précises. Les psychromètres **à aspiration selon ASSMANN**, par exemple, sont utilisés à l'échelle internationale comme appareils de contrôle et de référence. Ce psychromètre est équipé d'un ventilateur intégré alimenté par un système à ressort qui assure une vitesse d'air moyenne et constante d'env. 3 m/s autour des thermomètres. La différence de température est déterminée à l'aide de deux thermomètres en verre étalonnés.

Ces mesures sont exploitées manuellement à l'aide d'abaques ou de tableaux psychrométriques. Pour une plus grande précision, on peut également utiliser les tableaux pour psychromètres à aspiration, gradués en dixième de degré.

En dehors des psychromètres à aspiration, il existe encore de nombreuses autres exécutions de psychromètre.

L'application de la plupart des psychromètres mécaniques avec thermomètres en verre se limite au domaine climatique, les mesures étant effectuées à des températures $\leq 60^\circ\text{C}$. L'avantage de cette exécution est de ne pas nécessiter d'alimentation.

Le domaine d'application des psychromètres électriques est beaucoup plus vaste. Pour cette exécution, la température humide et la température sèche sont mesurées par des sondes à résistance Pt100. En liaison avec des indicateurs, régulateurs et enregistreurs commandés par microprocesseur avec un montage d'entrée adapté, cette exécution permet d'afficher ou de traiter directement l'humidité relative calculée selon la formule de SPRUNG.

La plage de température s'étend de pratiquement 0 à 100°C .

En raison de sa robustesse, le procédé de mesure psychrométrique, contrairement à d'autres systèmes de mesure d'humidité, permet les prises de mesure dans des gaz pollués ou corrosifs ou dans des gaz contenant des solvants. Les psychromètres électriques sont utilisés, par exemple, pour effectuer des mesures d'humidité permanentes dans l'industrie de transformation de la viande ou dans des fromageries.

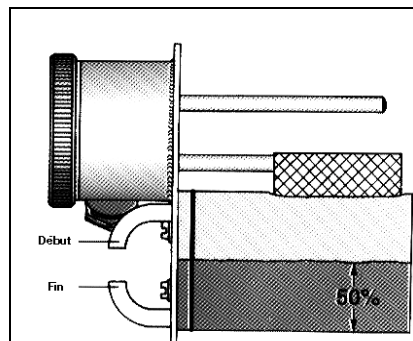


Fig. 4 : Psychromètre électrique

Le principe de mesure psychrométrique, qui est connu depuis plus de 100 ans, est un procédé de mesure de l'humidité simple et peu coûteux. Toutefois certains critères spécifiques à l'application, tels que par ex. ventilation et humidification suffisante, maintenance de l'appareil de mesure, doivent être respectés pour garantir une mesure fiable en permanence. Des instructions détaillées sont données par les notices de mise en service des différents appareils et procédés.

Mesure capacitive

Le procédé de mesure capacitive est basé sur le principe de la condensation.

La fonction du capteur d'humidité se base sur la variation de la capacité d'un film polymère très fin lors d'absorption ou de résorption de molécule d'eau.

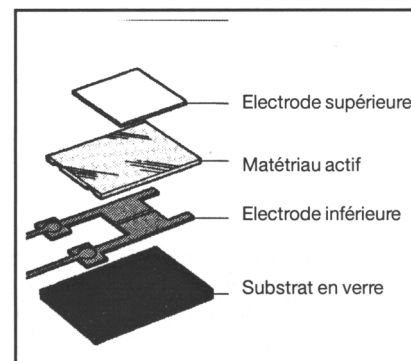


Fig.5 : Structure de l'hygromètre capacitif

La quantité d'humidité contenue dans l'air ambiant suivant la température pénètre l'électrode hygroscopique supérieure sous forme de vapeur d'eau et parvient au film polymère actif.

La quantité de vapeur d'eau absorbée par le film polymère modifie les propriétés électriques de l'hygromètre et produit une variation capacitive proportionnelle à la variation d'humidité relative est traitée par un système électronique monté en aval et transformé en un signal normalisé. Le système de traitement électronique doit être adapté à la capacité de base de l'hygromètre.

En raison de leur structure particulière et de leur petite dimension, les hygromètres capacitifs permettent d'obtenir des temps de réponse très courts. Par ailleurs, ils sont insensibles à de légères souillures et à la poussière. Pour éviter tout contact, les hygromètres capacitifs sont protégés par un boîtier en matière synthétique.

Des exécutions résistantes à l'eau de condensation sont disponibles pour utilisation dans des zones à forte humidité.

Les procédés de mesure capacitifs sont adaptés, par exemple, au domaine climatique et aux process industriels, pour lesquels il n'y a pas de concentration importante de gaz ou de solutions corrosives. Généralement, la plage de mesure standard des hygromètres capacitifs est comprise entre 10 et 90 % Hr. Des modèles plus performants permettent d'effectuer des mesures entre 0 et 100 % Hr.

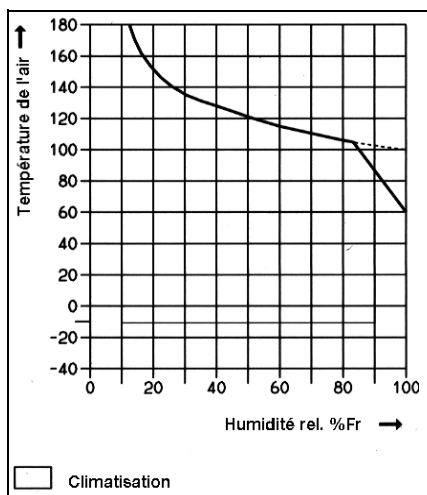


Fig.6 : Plage de travail d'un hygromètre capacitif pour applications industrielles.

Le principal avantage du procédé de mesure capacitif est la plage de température, dans laquelle il est possible de réaliser des mesures d'humidité. Les hygromètres modernes pour applications industrielles, par ex., autorisent les mesures d'humidité dans une plage de température de -40 à +180°C, la température étant mesurée simultanément et également transformée en un signal normalisé.

La plage de travail représentée ci-dessus peut varier en fonction des exécutions d'hygromètres. Etant donné qu'il s'agit d'une mesure purement électrique, le principe de mesure capacitif offre un autre avantage. Il permet de réaliser une multitude de fonctions et d'options avec des hygromètres modernes, très performants, gérés par microprocesseur.

L'influence sur l'hygromètre des différentes pressions de gaz et des vitesses d'air étant négligeable, des appareils adaptés pour les mesures d'humidité dans des systèmes soumis à des pressions comprises entre 0 et 100 bar sont disponibles. La précision de mesure varie de ± 2 à ± 5 % Hr suivant les exécutions.

Dans des conditions définies, il est possible d'atteindre une précision de ± 1 % Hr.

Mesure hygrométrique

Le principe hygrométrique consiste à exploiter les propriétés particulières des fibres hygroscopiques pour déterminer l'humidité. Lorsque l'on expose ces fibres à l'air ambiant, il se produit, après un temps de compensation, des variations de longueur en fonction de l'humidité de l'air qui sont mesurables.

Il est donc possible de déduire l'humidité relative de l'état respectif de ces fibres hygroscopiques.

Généralement, ce sont des fils synthétiques ayant subi un traitement spécial ou des cheveux humains qui sont utilisés comme éléments de mesure hygrométriques.

Hygromètre à cheveu

Le principe repose sur le fait que les cheveux utilisés sont en mesure d'absorber l'humidité. L'absorption d'humidité provoque un effet de gonflement du cheveu qui se traduit essentiellement par une variation de longueur.

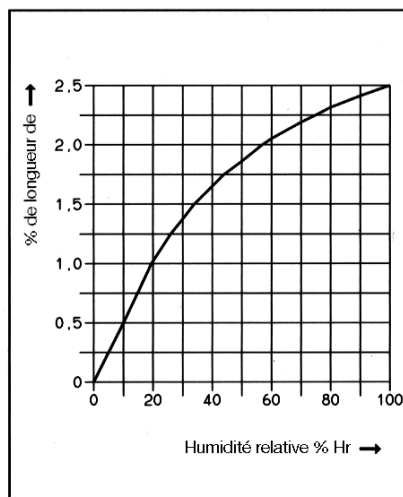


Fig.7 : Variation de longueur du cheveu en fonction de l'humidité relative. Longueur du cheveu pour une variation d'humidité de 0 à 100 %.

Cependant l'allongement du cheveu n'est plus que relativement faible lorsque l'humidité relative est très importante (voir fig. 7).

Les hygromètres à cheveux sont principalement utilisés pour les instruments à cadran employés dans le domaine climatique. La variation de longueur du cheveu est transmise à une aiguille ou à une pointe d'enregistrement par une transmission spéciale.

Pour des raisons de stabilité mécanique, on rassemble plusieurs cheveux en faisceau ou en éventail.

Ce principe de mesure assure une précision de ± 3 % dans la plage de 0 à 90 (100) % Hr, la température admissible pouvant varier entre -35 et +50 °C.

En cas d'utilisation prolongée dans une plage d'humidité inférieure à 40 % Hr, l'hygromètre à cheveux doit être régénéré.

Pour cela, il faut placer l'hygromètre à cheveux dans de l'air pratiquement saturé (env. 94 à 98 %) pendant environ 60 mn. Après cette opération, la position de l'aiguille peut éventuellement être rectifiée à l'aide d'une vis d'ajustage.

Les hygromètres à cheveux sont très sensibles à la poussière hygroscopique et doivent donc être protégés et nettoyés à intervalles réguliers.

Hygromètres à cheveux synthétiques

Pour ces appareils, des fils synthétiques sont utilisés à la place des cheveux naturels. Suite à un traitement spécial, ces fibres sont également pourvues de propriétés hygroscopiques.

Les variations de l'humidité relative provoquent une variation de longueur proportionnelle de ces fibres. La variation de longueur est également transmise par système de transmission spécial.

Les hygromètres à cheveux synthétiques offrent l'avantage de pouvoir être utilisés à des températures élevées (jusqu'à 110°C) et dans une plage d'humidité relative faible pendant une période assez longue. Contrairement aux autres hygromètres à cheveux, une régénération est inutile.

Les hygromètres à cheveux synthétiques résistent à l'eau et sont insensibles aux souillures sèches, à la poussière, peluches et autres souillures de ce genre. La plage de mesure et de travail s'étend de (0)30 à 100 % Hr mais dépend de la température ambiante (voir fig. 8), la précision de mesure étant de l'ordre de ± 2 à 3 %.

En raison de leur robustesse et de leur bonne tenue en température, les hygromètres à cheveux synthétiques sont adaptés pour effectuer des mesures permanentes dans les process industriels et le domaine climatique. Les exécutions les plus variées sont disponibles en fonction des cas d'application.

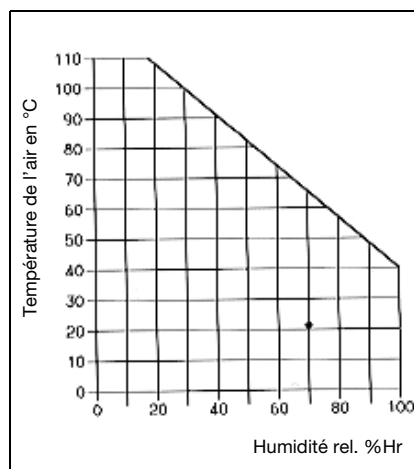


Fig.8 : Température et humidité max. pour un hygromètre à cheveux synthétiques.

Parmi ces exécutions, citons entre-autres

Le capteur d'humidité

Pour cette exécution, la variation de longueur de l'élément synthétique est captée par un système adapté et généralement transformé en un signal de résistance linéaire. Des exécutions avec convertisseur de mesure en technique 2 fils intégré, fournissant des signaux de courant ou de tension normalisés en sortie, sont également disponibles. Les appareils, disposant en plus d'une plage de mesure de température, sont appelés thermo-hygromètres.

L'hygrostat

Pour cette variante, la variation de longueur de l'élément de mesure est utilisée pour actionner un contact de commutation. Les hygrostats servent à commander des installations d'hydratation et de

déshydratation.

Hygrographe

L'hygrographe est un enregistreur d'humidité muni d'un hygromètre à cheveux naturels ou synthétiques. L'enregistrement simultané de la température est également possible (thermo-hygrographe). Exemple d'application : stations météorologiques.

En règle générale, le principe de mesure hygrométrique autorise les mesures d'humidité dans de l'air non comprimé et non corrosif. Il est déconseillé d'effectuer des mesures dans des milieux contenant des solvants ou dans des milieux corrosifs, car suivant la nature et la concentration, cela peut provoquer des erreurs de mesure ou la détérioration de l'élément de mesure.

Conclusion

La partie "Procédés de mesure d'humidité et leurs applications" traitent de données fondamentales. Les exécutions d'appareil décrites et les données techniques peuvent varier en fonction du constructeur.

Pour plus de précisions, il convient de se reporter aux fiches techniques et notice de mise en service de chaque appareil.