

# LA MESURE DE L'HUMIDITE

La mesure de l'humidité de l'air s'effectue à l'aide d'un hygromètre.

## Historique de l'hygromètre

L'hygrométrie, c'est-à-dire la mesure de l'humidité, fait l'objet d'études et de recherches depuis plusieurs siècles dont les résultats n'ont abouti que récemment. Il s'agissait tout d'abord pour les scientifiques de comprendre la nature exacte de la vapeur d'eau, concept peu évident. Les différents types d'hygromètres reposent sur des principes qui font appel à des notions définies dans la partie « définition de l'humidité ».

Les ancêtres des hygromètres apparaissent dès le milieu du XV<sup>ème</sup> siècle. Ils utilisent les propriétés hygroscopiques de certaines substances organiques (la laine ou l'éponge par exemple), qui lorsqu'elles absorbent de la vapeur d'eau, changent de masse, de forme, de longueur ou de couleur.

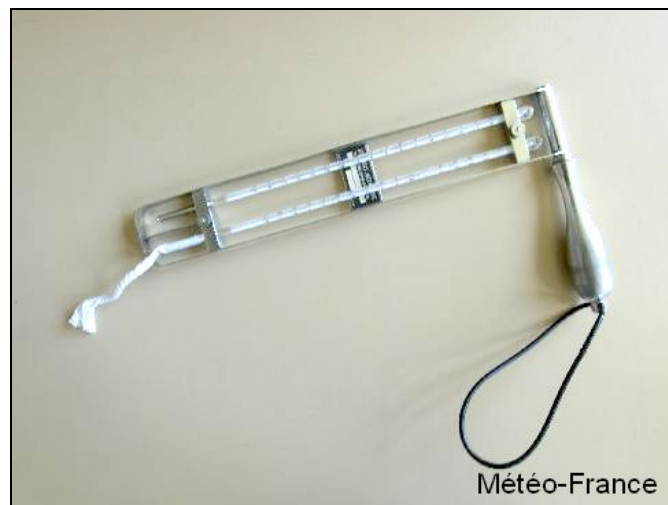
Puis en 1623, Santorio décrit plusieurs hygromètres utilisant notamment une boule de plomb et une corde : plus l'air est humide, plus la corde se raccourcit, provoquant ainsi la montée de la boule dont le déplacement est suivi par une échelle graduée. En 1665, Robert Hooke décrit un hygromètre à cadran utilisant une barbe d'avoine comme substance organique. L'aiguille du cadran se déplace suivant le mouvement de la barbe d'avoine : enroulement ou déroulement selon l'humidité de l'air.

Il faut attendre plus d'un siècle pour que de nouvelles améliorations apparaissent concernant ce type d'hygromètres. Horace Bénédicte de Saussure met au point en 1781 le premier hygromètre à cheveu de l'histoire. L'aiguille, reliée au cheveu, se déplace devant un cadran gradué. C'est ensuite en 1815, que Louis Joseph Gay-Lussac réalise le lien entre les indications de l'hygromètre à cheveu et une échelle d'humidité relative. Il met ainsi en évidence que l'allongement du cheveu n'est pas proportionnel aux valeurs de l'humidité. Les hygromètres à cheveu restent très utilisés jusqu'au XX<sup>ème</sup> siècle car ils sont simples, peu coûteux et relativement précis, bien que nécessitant un étalonnage régulier.

En 1819, John Frederic Daniell invente un nouvel instrument d'hygrométrie composé de deux ampoules de verre reliées par un tube : l'hygromètre à condensation. Par la suite, plusieurs chercheurs l'améliorent et fabriquent un instrument très précis bien que nécessitant des manipulations très soigneuses à chaque mesure.

En 1825, après avoir repris plusieurs travaux, Ernst Ferdinand August donne le nom de psychromètre à un nouvel instrument d'hygrométrie reposant sur le principe d'évaporation de l'eau, d'où cette nouvelle appellation. Pendant très longtemps, le psychromètre reste l'instrument de mesure de l'humidité utilisé dans l'abri météorologique. Un psychromètre est constitué de deux thermomètres. Le premier, le « thermomètre sec », mesure la température de l'air. La partie sensible du second, le « thermomètre humide », est maintenue mouillée par une mousseline imbibée d'eau en permanence. Le psychromètre utilise le principe de changement d'état de l'eau. Au contact de l'air, l'eau de la mousseline s'évapore. L'évaporation (passage de la phase liquide à la phase gazeuse) nécessite une certaine quantité de chaleur (appelée chaleur latente de vaporisation). Cette chaleur latente est puisée par les particules d'eau dans leur environnement immédiat (la mousseline) qui donc se refroidit. Plus l'air est sec, plus l'évaporation de l'eau est importante et donc plus la température diminue. Le thermomètre humide indique donc une température plus faible que le thermomètre sec. La différence de températures entre les deux thermomètres permet de déterminer le taux d'humidité de l'air. On utilise pour cela des abaques ou des tableaux de correspondance entre température et humidité. Cet instrument de mesure est très sensible à la ventilation. Il existe

des psychromètres fixes (placés dans l'abri météorologique) et des psychromètres à crécelle (c'est-à-dire à ventilation artificielle).



Photos 1 et 2 : *Psychromètre fixe et psychromètre à crécelle* © Météo-France

Actuellement, suite à l'essor des sondes électroniques, Météo-France utilise des hygromètres à sondes capacitives dont les propriétés diélectriques varient en fonction de l'humidité de l'air.



Photo 3 : *Sonde capacitive d'humidité* © Météo-France

## Définition de l'humidité

### L'humidité relative

L'humidité relative de l'air se définit par le rapport de la pression exercée par la vapeur d'eau contenue dans l'air à une température donnée sur la pression de la vapeur d'eau saturante (c'est-à-dire au maximum de vapeur d'eau que cet air pourrait absorber à cette même température).

L'humidité relative de l'air ou état hygrométrique indique suivant une échelle allant de 0 à 100 %, l'état d'humidité ou de sécheresse de l'air. Elle caractérise donc le contenu de l'air en vapeur d'eau et la capacité de cette vapeur d'eau à se condenser.

L'humidité relative dépend de la température : plus la température de l'air est élevée, plus il peut contenir de vapeur d'eau.

### La température du point de rosée (Td)

Elle correspond à la température à laquelle l'air humide doit être amené, à pression constante, pour qu'il se sature. La température du point de rosée est donc inférieure ou égale à la température de l'air.

Le pourcentage d'humidité relative, en tant que valeur, n'est pas un paramètre très utilisé en météorologie. Afin de caractériser l'humidité de l'air, les météorologistes emploient à la fois la température de l'air et la température du point de rosée. Ils utilisent ensuite des abaques regroupant les valeurs de température et de pression pour déterminer l'état de saturation de l'atmosphère et connaître l'état de stabilité de l'air.

### **Unité de l'humidité**

L'humidité relative de l'air s'exprime en pourcentage.

Un air saturé en vapeur d'eau a une humidité relative de 100 % ; un air très sec, une humidité de 10 à 20 %.

### **Constitution de la sonde d'humidité**

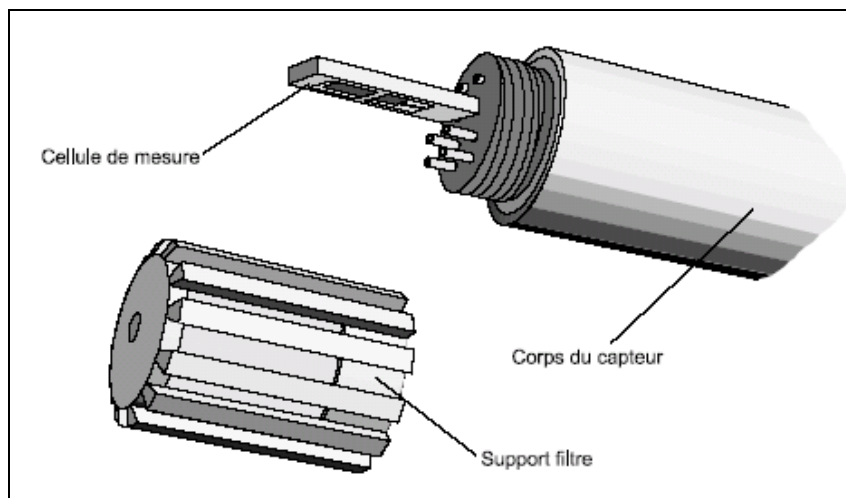


Figure 2 : Composition d'une sonde d'humidité utilisée à Météo-France. © Météo-France

La sonde d'humidité utilisée actuellement à Météo-France se compose de divers éléments :

- Le support filtre, dont le rôle est de protéger la cellule de mesure.
- La cellule de mesure, se présentant sous la forme d'un circuit « encapsulé » afin d'assurer sa protection et sa manipulation. Une électrode inférieure, un film polymère hygroscopique et une électrode supérieure (formant le diélectrique) sont déposés sur un support de verre qui assure la rigidité de l'ensemble.
- Le Pré-conditionneur-transmetteur qui constitue le corps du capteur. Il s'agit d'un module cylindrique renfermant une plaquette électronique assurant notamment la mesure de la capacité et la linéarisation du signal

## **Remarque**

Le capteur est alimenté par la station automatique uniquement lors de la mesure (5 secondes toutes les minutes), la consommation électrique en est ainsi réduite.

## **Fonctionnement du capteur**

Météo-France utilise dans ses stations automatiques des hygromètres capacitifs dont l'élément sensible (un condensateur) est une substance hygroscopique dont on mesure les variations de capacité en fonction de l'humidité ambiante.

### Principe de la mesure

Une sonde d'humidité est constituée d'un circuit oscillant (pré-conditionneur du capteur) relié à un condensateur qui constitue la cellule de mesure.

Ce condensateur dont le diélectrique est constitué d'une substance hygroscopique de quelques millimètres constitue l'élément sensible de la cellule de mesure. Cette substance sensible, un film de polymère hygroscopique, absorbe les molécules d'eau de l'air ambiant jusqu'à atteindre l'équilibre avec la vapeur d'eau qu'il contient. On observe donc une variation de la constante diélectrique du polymère, et donc une variation de la capacité du condensateur. La capacité du condensateur varie donc en fonction de l'humidité relative contenue dans l'air ambiant.

Le circuit oscillant lui, permet d'obtenir une fréquence précise, fonction de la capacité du condensateur. Cette fréquence est transformée par la partie pré-conditionneur du capteur en un courant électrique (4 – 20 mA) ou en une tension (0 – 1 V) qui varie linéairement en fonction de l'humidité relative.

De manière générale, 4 mA ou 0 V correspondent à 0 % d'humidité relative et 20 mA ou 1 V à 100 % ; selon la configuration de la station, on obtient un courant ou une tension. Le graphique suivant montre la correspondance entre l'intensité du courant, la tension et l'humidité relative pour une température de 23°C.

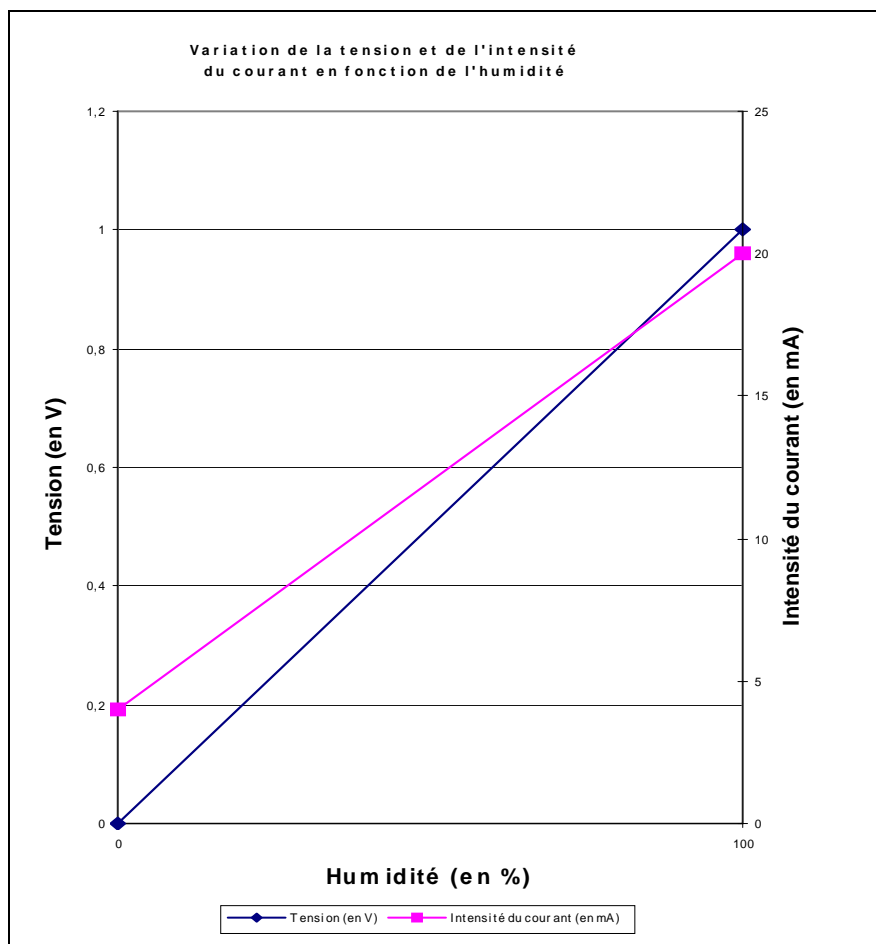


Figure 3 : Graphique montrant la correspondance entre l'intensité du courant, la tension et l'humidité relative pour une température de 23°C, © Météo-France, Mylène Civate et Flavie Mandel

Généralement, le changement de capacité est de 0,2 – 0,5 pF pour une variation de 1% d'humidité relative de l'air. La capacité vaut entre 100 et 500 pF pour 50% d'humidité et une température de 25°C.

La sonde d'humidité permet de mesurer l'humidité relative sous abri. On peut ensuite déterminer la température du point de rosée (Td).

#### Incertitude du capteur

La sonde capacitive d'humidité utilisée à Météo-France mesure l'humidité relative de 0 à 100 % pour des températures allant de – 40 à +60 °C.

L'incertitude sur l'étalonnage de la sonde est de +/- 2%, l'incertitude sur la mesure atteint elle +/- 6%, en tenant compte de l'influence de la température (entre – 20 et + 40°C). Un capteur indiquant 95% d'humidité dans le brouillard, hors des zones urbaines, est tout à fait satisfaisant à Météo-France.

#### **Installation de l'instrument**

La sonde d'humidité est installée dans un abri météorologique, afin de la protéger du rayonnement solaire et des précipitations. Cet abri doit être installé de façon à ce que la mesure soit effectuée à une hauteur de 1,5 m et respectant ses contraintes d'environnement.

Une précaution à prendre est d'éloigner le capteur le plus possible des parois de l'abri. En effet, il s'agit à la fois de s'affranchir des phénomènes extérieurs (notamment le gradient thermique des parois dû au rayonnement) et de maintenir un équilibre thermique au sein de l'abri.

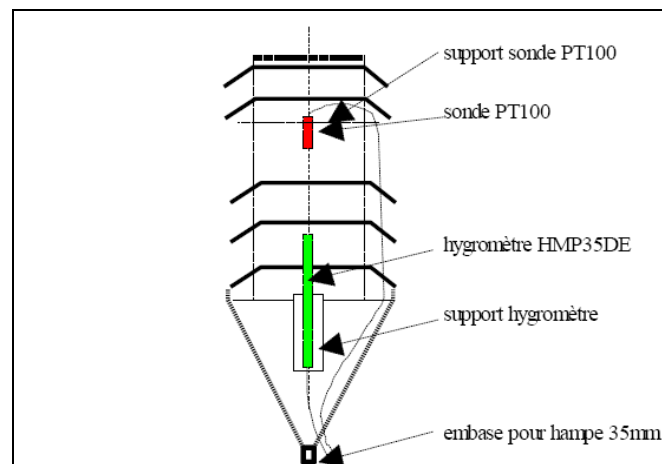


Figure 4 : Positionnement des sondes de température (en rouge et en haut) et d'humidité (en vert et en bas) dans l'abri miniature. © Météo-France

## Maintenance

Aucune maintenance de premier degré n'est spécifiée pour la sonde d'humidité pour la majorité des types d'abris météorologiques.

Toutefois, pour l'abri Stevenson (abri pouvant facilement s'ouvrir), il est recommandé de vérifier l'état du filtre.

Action de maintenance	Périodicité	Matériel nécessaire
Vérifier l'état du filtre	Mensuelle	Filtre neuf

Les performances du capteur peuvent être dégradées par la salissure du filtre, qui ne devient alors plus neutre et peut perturber l'environnement proche de la cellule de mesure. Il faut donc régulièrement vérifier l'état du filtre. Changez le filtre au profit d'un neuf si c'est nécessaire.

Remarques :

- La manipulation des sondes n'engendre aucun risque de sécurité.
- Le capteur doit être étalonné tous les ans.

## Bibliographie :

JAVELLE, Jean-Pierre, ROCHAS, Michel, PASTRE, Claude et al. *La météorologie : du baromètre au satellite. - Mesurer l'atmosphère et prévoir le temps.* Paris : Edition Delachaux et Niestlé, coll. «La bibliothèque du naturaliste », 2000. 171 p.

DIOT, Eric. *La météo de A à Z.* Paris : Edition Stock, 2006. 124 p.

FRAYARD, Marc. *Cours de Mesure et Capteurs de l'Ecole Nationale de la Météorologie, Météo-France.*

DSO Météo-France. *Notice de maintenance de premier degré du capteur d'humidité relative.* 2005.