



Mesures Solutions Expo 2020

Bertram WALTER – 20/11/2020

Suite à l'annulation du Salon Mesures Solutions EXPO2020, le **Réseau Mesure** vous propose un **programme d'exposés thématiques** en visio-conférence, présentés par des **spécialistes de la mesure**, à partir de Novembre 2020.

- ✓ Développez vos connaissances et vos relations
- ✓ 2 à 3 conférences par semaine
- ✓ Inscrivez-vous !



les RDV de 9h30

Mesures Solutions EXPO *visio-conférences*

www.reseau-mesure.com
confray@reseau-mesure.com





***Etalonnage et
vérification des sondes
d'humidité, quels
moyens utiliser ?***

Bertram WALTER – 20/11/2020

Etalonnage et vérification des sondes d'humidité, quels moyens utiliser?

Sommaire

- » Rappel de quelques définitions
- » Les appareils de mesure
- » Les paramètres d'influences
- » Pourquoi vérifier ?
- » Les moyens de vérifications
- » Conclusion

Définitions

» Humidité Relative (%HR)

- » Rapport de la pression partielle de vapeur d'eau sur la pression de vapeur saturante d'un air humide saturé à la même pression et à la même température.

$$U_w = 100 * \left(\frac{e'}{e'_w} \right)_{P,T}$$

» Point de rosée / Point de givre

- » Température à laquelle la pression partielle de la vapeur d'eau est à son maximum ou pression de vapeur saturante en équilibre avec la surface plane de l'eau (ou de la glace).
- » Température à laquelle le mélange gaz-vapeur d'eau doit être refroidi de façon isobarique pour induire la condensation (ou la gelée).

Définitions

- » **Humidité absolue (g/m³)**

- » Rapport de la masse de vapeur sur l'unité de volume de gaz humide .

- » **Rapport de mélange (g/kg)**

- » Masse de vapeur d'eau par unité de masse de gaz sec

Comment mesurer / contrôler

» Hygromètre mécanique

- » Ce type d'hygromètre utilise la capacité de dilatation et de rétraction d'un matériau organique, en fonction de l'humidité.
- » L'élément sensible peut être un cheveu humain, du coton ou une membrane plastique.
- » Les modifications de longueur sont amplifiées par un montage mécanique et sont transmises à un indicateur gradué ou à un enregistreur.



Comment mesurer / contrôler

» Hygromètres à variation d'impédance

» Hygromètre résistif

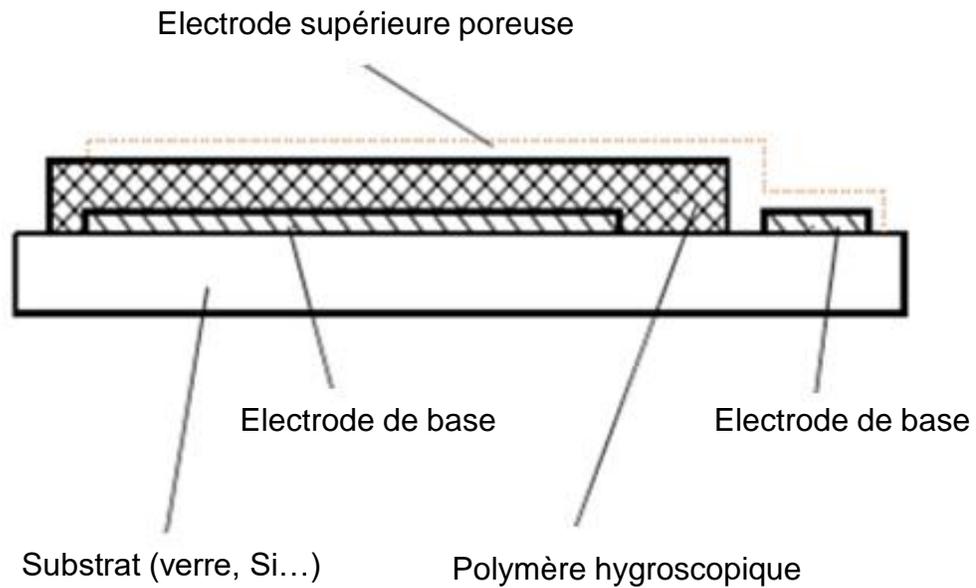
- » Les variations d'humidité sont mesurées par un changement de résistance du matériau hygroscopique. Nous avons deux types de conduction électrique : la conduction de surface et la conduction de masse.
- » Dans la conduction de surface les deux contacts (électrodes) sont situés du même côté du matériau hygroscopique. La mesure de la variation de résistance est essentiellement réalisée sur la surface du capteur
- » Dans la conduction de masse, les contacts sont de chaque côté du capteur et le matériau hygroscopique est au milieu.

» Hygromètre capacitif

- » Une couche polymère diélectrique, absorbe des molécules d'eau de l'air ambiant, de façon à se mettre en équilibre avec cet air. Cela provoque une modification de la constante diélectrique de cette couche, d'où une variation de la capacité du condensateur utilisant ce diélectrique.
- » Le procédé de fabrication consiste à déposer sur un substrat de verre une première électrode. Le polymère est déposé sur cette électrode, puis, par évaporation sous vide l'électrode poreuse est déposée sur le polymère.

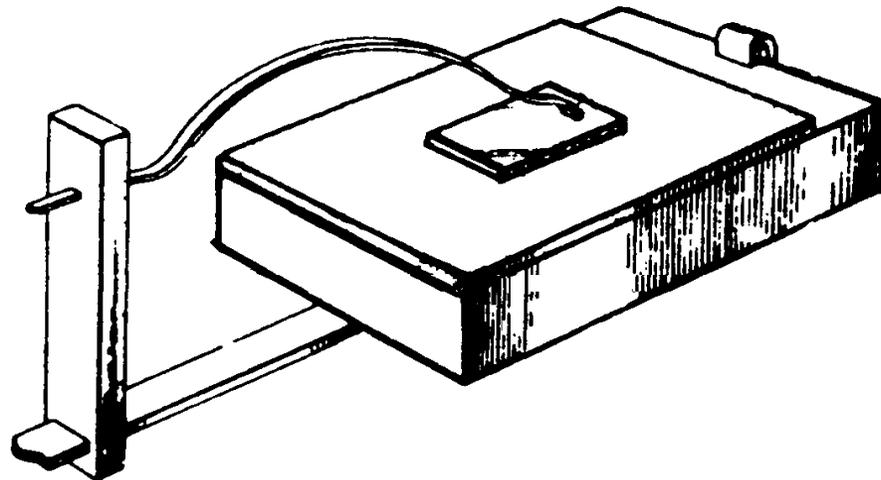
Comment mesurer / contrôler

» Hygromètre capacitif



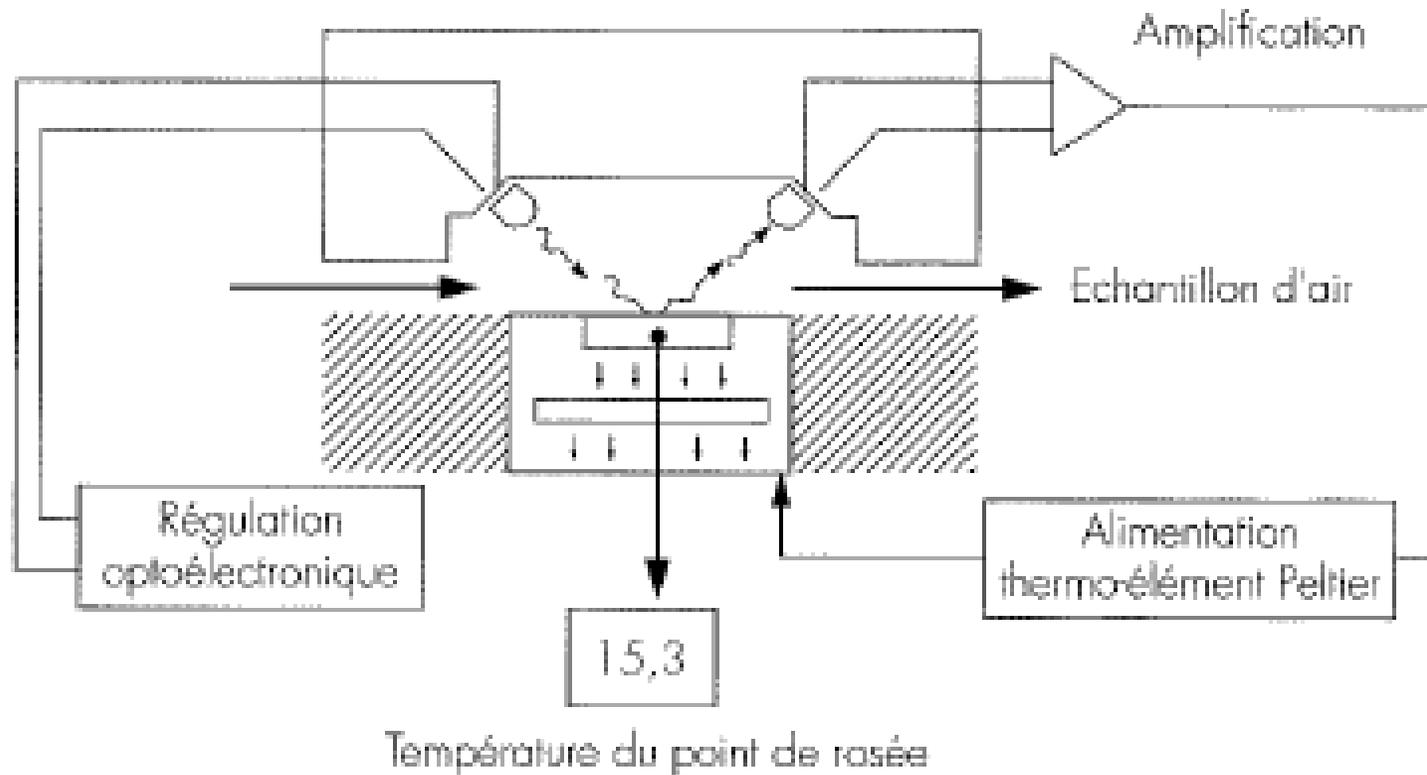
Comment mesurer / contrôler

- » Hygromètre à oxyde métallique
 - » Ce capteur est un cas particulier des hygromètres à variation d'impédance, utilisé dans la mesure de l'humidité absolue. En suivant un principe similaire, la partie active de l'élément est constitué d'oxyde d'aluminium ou d'autres oxydes métalliques.
 - » Il est généralement utilisé pour la mesure de faible valeur d'humidité relative; point de rosée jusqu'à -80°C voir même -100°C Td



Comment mesurer / contrôler

» Hygromètre à point de rosée



Comment mesurer / contrôler

- » Hygromètre à point de rosée



Comment mesurer / contrôler

- » **Comment choisir son instrument**
 - » Guide de choix / fiches de synthèse
 - » FD-X 15-111
 - » NF-X 15-112
 - » NF-X 15-113

Les paramètres d'influences

- L'application
- Le montage mécanique
- La température de mesure de l'humidité
- La plage de température
- L'alimentation
- Le signal électrique de sortie (HR et/ou T°)
- Le type de filtre
- Choix de l'emplacement
- Protection des capteurs
- Influence de l'opérateur
- Choix de l'instrument

Les paramètres d'influences

» Dépendance de la température

- » L'humidité relative est fortement dépendante de la température. Elle augmente quand la température diminue.
- » A l'inverse si la température augmente, l'humidité relative diminue.

Effet d'une variation de $\pm 1^\circ\text{C}$ sur l'humidité relative

	<i>10°C</i>	<i>20°C</i>	<i>30°C</i>	<i>50°C</i>	<i>70°C</i>
<i>10%HR</i>	<i>$\pm 0.7\%$</i>	<i>$\pm 0.6\%$</i>	<i>$\pm 0.6\%$</i>	<i>$\pm 0.5\%$</i>	<i>$\pm 0.5\%$</i>
<i>50%HR</i>	<i>$\pm 3.5\%$</i>	<i>$\pm 3.2\%$</i>	<i>$\pm 3.0\%$</i>	<i>$\pm 2.6\%$</i>	<i>$\pm 2.3\%$</i>
<i>90%HR</i>	<i>$\pm 6.7\%$</i>	<i>$\pm 5.7\%$</i>	<i>$\pm 5.4\%$</i>	<i>$\pm 4.6\%$</i>	<i>$\pm 4.1\%$</i>

Pourquoi vérifier

- » **Connaitre l'état de fonctionnement de son instrument**
- » **Suivre l'état de fonctionnement**
- » **Avoir une traçabilité documentaire**
- » **Besoin d'étalonnage imposé par des normes ou des règles en vigueur selon le domaine d'utilisation**

Moyens de vérification

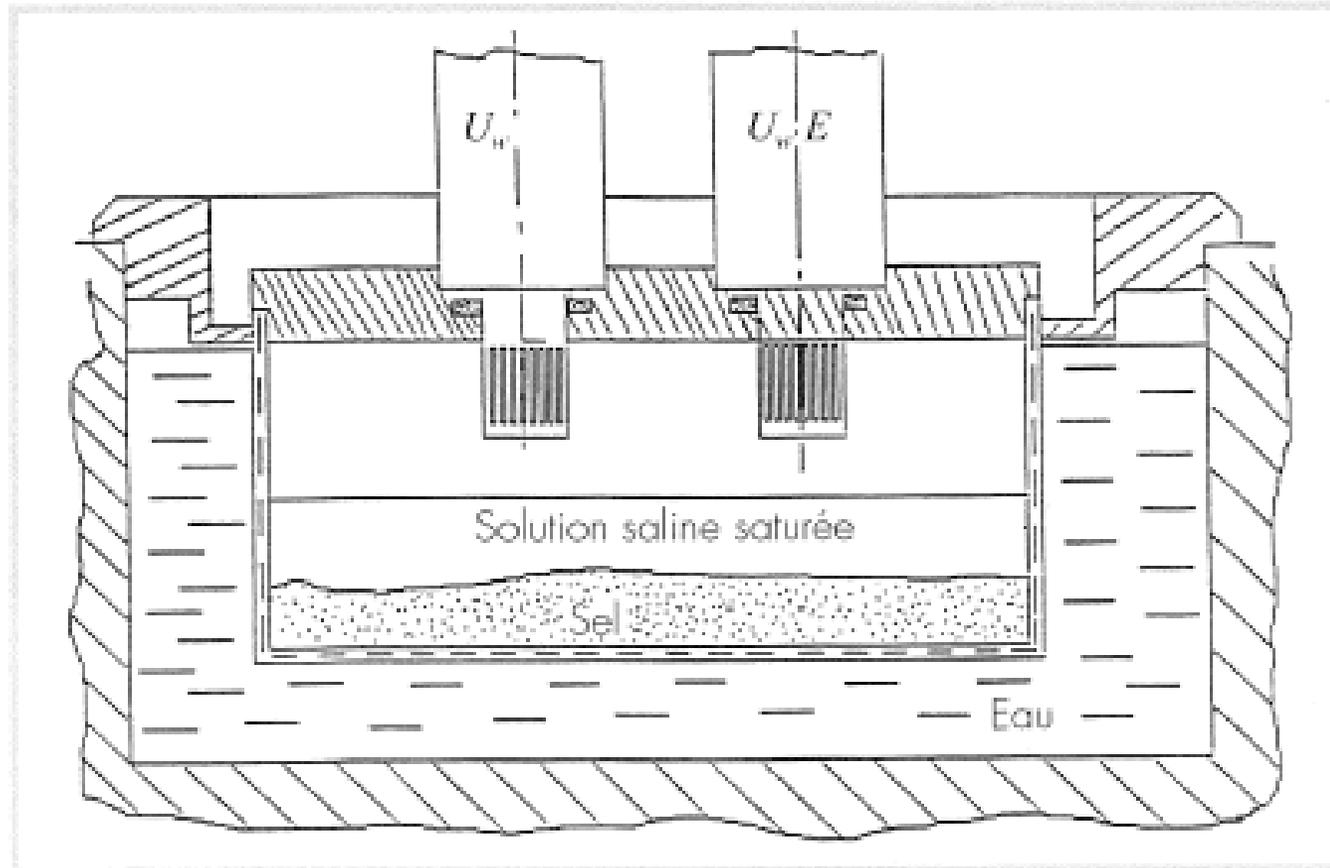
- » Solutions salines saturées
- » Solutions salines diluées
- » Générateur à dilution
- » Générateur à 2 température
- » Générateur à double pression

Moyens de vérification

» Solutions salines saturées

- » La pression partielle en équilibre au-dessus d'une solution saturée de sel ne dépend que de la nature du sel et de la température
- » NF-X 15-119
- » Très simple à mettre en œuvre mais nécessite des précautions (sels purs, eau distillé, étanche...)

Moyens de vérification



Moyens de vérification

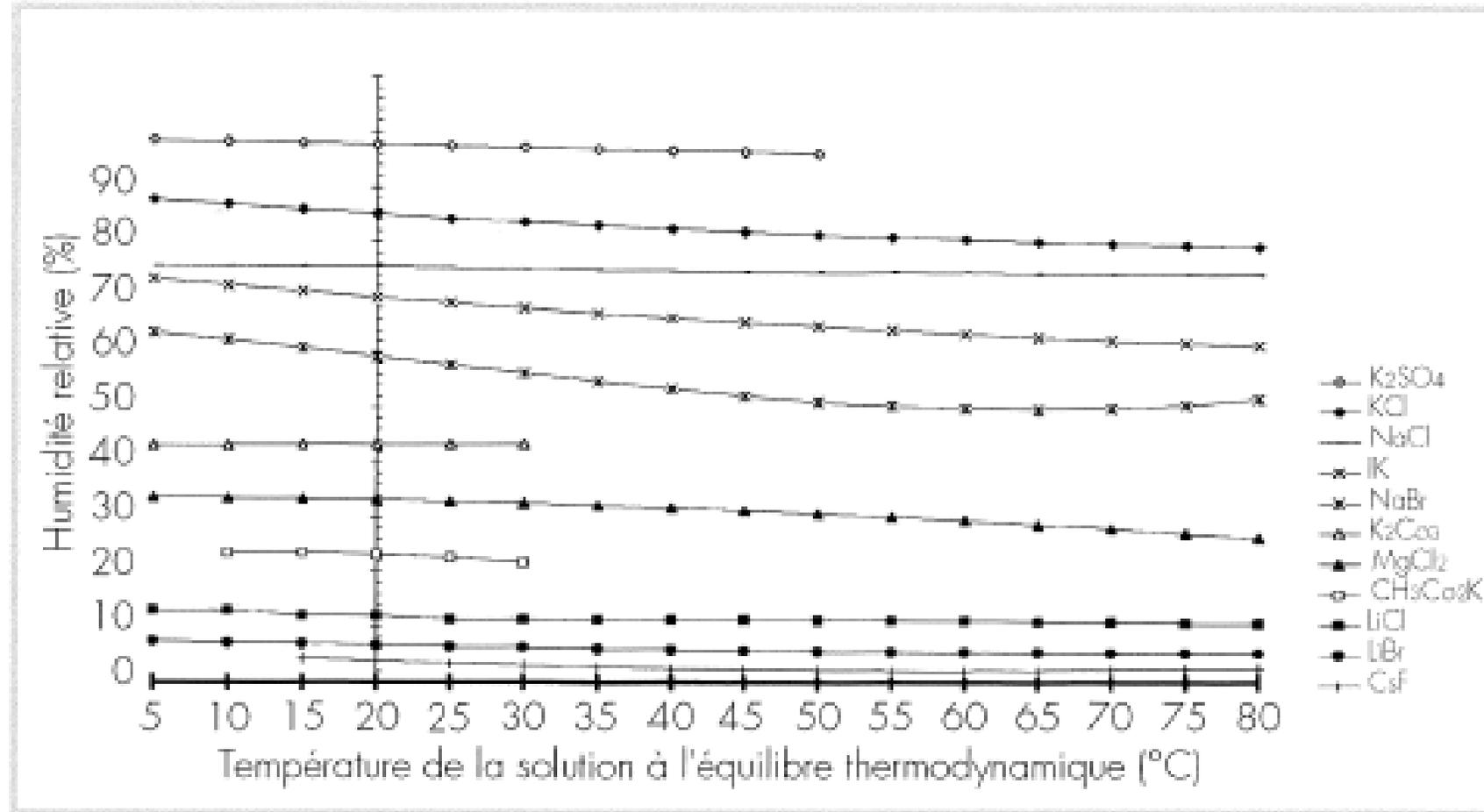
» Solutions salines saturées

Valeurs du point fixe d'humidité relative pour différentes solutions salines saturées
(extrait des recommandations OIML)

t (°C)	Humidité relative (% HR)										
	Solution de Fluorure de Césium CsF	Solution de Bromure de Lithium LiBr	Solution de Chlorure de Lithium LiCl	Solution d'acétate de Potassium CH_3CO_2	Solution de chlorure de Magnésium MgCl	Solution de carbonate de Potassium K_2CO_3	Solution de bromure de Sodium NaBr	Solution d'Iodure de Potassium IK	Solution de chlorure de Sodium NaCl ⁽³⁾	Solution de chlorure de Potassium KCl	Solution de sulfate de Potassium K_2SO_4
5		7,4 ± 0,8	13 ⁽¹⁾		33,6 ± 0,3	43,1 ± 0,5	63,5 ± 0,7	73,3 ± 0,3	75,7 ± 0,3	87,7 ± 0,5	98,5 ± 0,9
10		7,1 ± 0,7	13 ⁽²⁾	23,4 ± 0,5	33,5 ± 0,2	43,1 ± 0,4	62,2 ± 0,6	72,1 ± 0,3	75,7 ± 0,2	86,8 ± 0,4	98,2 ± 0,8
15	4,3 ± 1,4	6,9 ± 0,6	12 ⁽³⁾	23,4 ± 0,3	33,3 ± 0,2	43,2 ± 0,3	60,7 ± 0,5	71,0 ± 0,3	75,6 ± 0,2	85,9 ± 0,3	97,9 ± 0,6
20	3,8 ± 1,1	6,6 ± 0,6	12 ⁽⁴⁾	23,1 ± 0,3	33,1 ± 0,2	43,2 ± 0,3	59,1 ± 0,4	69,9 ± 0,3	75,5 ± 0,1	85,1 ± 0,3	97,6 ± 0,5
25	3,4 ± 0,9	6,4 ± 0,5	11,3 ± 0,3	22,5 ± 0,3	32,8 ± 0,3	43,2 ± 0,4	57,6 ± 0,4	68,9 ± 0,2	75,3 ± 0,1	84,2 ± 0,3	97,3 ± 0,5
30	3,0 ± 0,8	6,2 ± 0,5	11,3 ± 0,2	21,6 ± 0,5	32,4 ± 0,1	43,2 ± 0,5	56,0 ± 0,4	67,9 ± 0,2	75,1 ± 0,1	83,6 ± 0,3	97,0 ± 0,4
35	2,7 ± 0,6	6,0 ± 0,4	11,3 ± 0,2		32,1 ± 0,1		54,6 ± 0,4	67,0 ± 0,2	74,9 ± 0,1	83,0 ± 0,3	96,7 ± 0,4
40	2,4 ± 0,5	5,8 ± 0,4	11,2 ± 0,2		31,6 ± 0,1		53,2 ± 0,4	66,1 ± 0,2	74,7 ± 0,1	82,3 ± 0,3	96,4 ± 0,4
45	2,2 ± 0,4	5,7 ± 0,4	11,2 ± 0,2		31,1 ± 0,1		52,0 ± 0,5	65,3 ± 0,2	74,5 ± 0,2	81,7 ± 0,3	96,1 ± 0,4
50	2,1 ± 0,4	5,5 ± 0,3	11,1 ± 0,2		30,5 ± 0,1		50,9 ± 0,6	64,5 ± 0,3	74,5 ± 0,9	81,2 ± 0,3	95,8 ± 0,5
55	2,0 ± 0,4	5,4 ± 0,3	11,0 ± 0,2		29,9 ± 0,2		50,2 ± 0,7	63,8 ± 0,3	74,5 ± 0,9	80,7 ± 0,4	
60	2,0 ± 0,4	5,3 ± 0,3	11,0 ± 0,1		29,3 ± 0,2		49,7 ± 0,8	63,1 ± 0,3	74,4 ± 0,9	80,3 ± 0,4	
65	2,1 ± 0,4	5,3 ± 0,2	10,9 ± 0,1		28,5 ± 0,2		49,5 ± 0,9	62,5 ± 0,3	74,2 ± 0,9	79,9 ± 0,5	
70	2,2 ± 0,5	5,2 ± 0,2	10,8 ± 0,1		27,8 ± 0,3		49,7 ± 1,1	61,9 ± 0,4	74,1 ± 0,9	79,5 ± 0,6	
75	2,4 ± 0,6	5,2 ± 0,2	10,6 ± 0,1		26,9 ± 0,3		50,3 ± 1,3	61,4 ± 0,4	74,0 ± 0,9	79,2 ± 0,7	
80	2,6 ± 0,8	5,2 ± 0,2	10,5 ± 0,1		26,1 ± 0,3		51,4 ± 1,5	61,0 ± 0,5	73,9 ± 0,9	78,9 ± 0,8	

Moyens de vérification

» Solutions salines saturées



Moyens de vérification

» Solutions salines diluées

- » Le principe de fonctionnement des solutions salines diluées repose sur le fait que des quantités bien définies de sel (principalement le Chlorure de Lithium LiCl) dans de l'eau pure permettent d'obtenir des valeurs entières d'humidité relative (pression partielle d'équilibre).
- » Les solutions sont contrôlées après conditionnement par un hygromètre de référence afin d'établir un certificat d'étalonnage.
- » Les solutions se présentent sous forme d'ampoule scellée facile à utiliser



Moyens de vérification

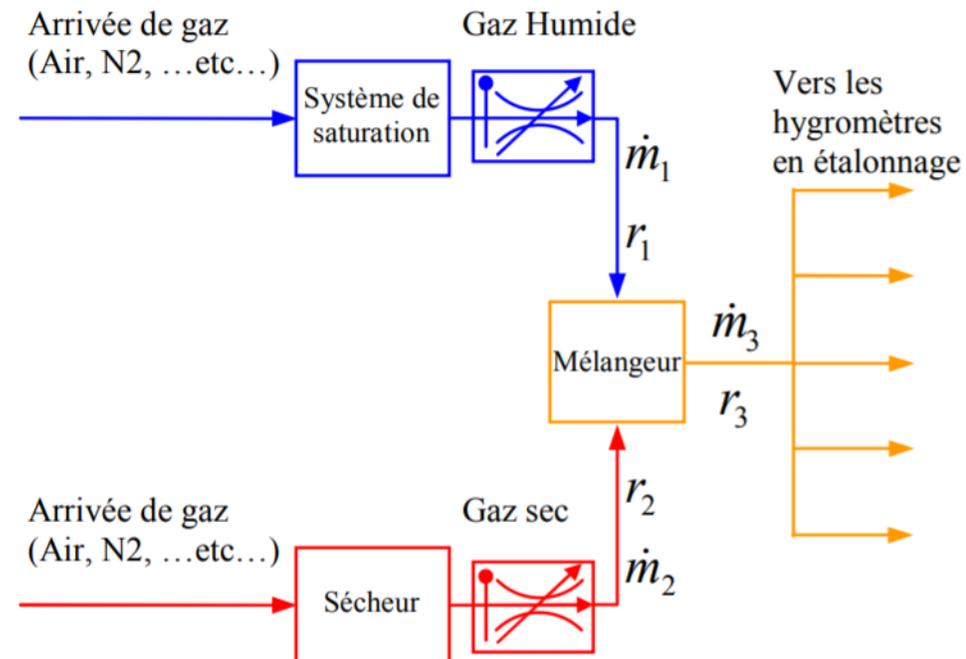
- » Solutions salines diluées
 - » Mise en œuvre



Moyens de vérification

» Générateur à mélange (ou dilution)

- » Le principe consiste à mélanger un gaz ou de l'air sec avec un gaz ou de l'air saturé à une température donnée en contrôlant les débits
- » L'incertitude sur l'humidité générée dépend directement de la qualité de la mesure des débits d'air ou de gaz, mais également de l'efficacité de la dessiccation et de la saturation de l'air ou du gaz.



$$r_3 = \frac{r_1 \cdot \dot{m}_1 + r_2 \cdot \dot{m}_2}{\dot{m}_3}$$

Moyens de vérification

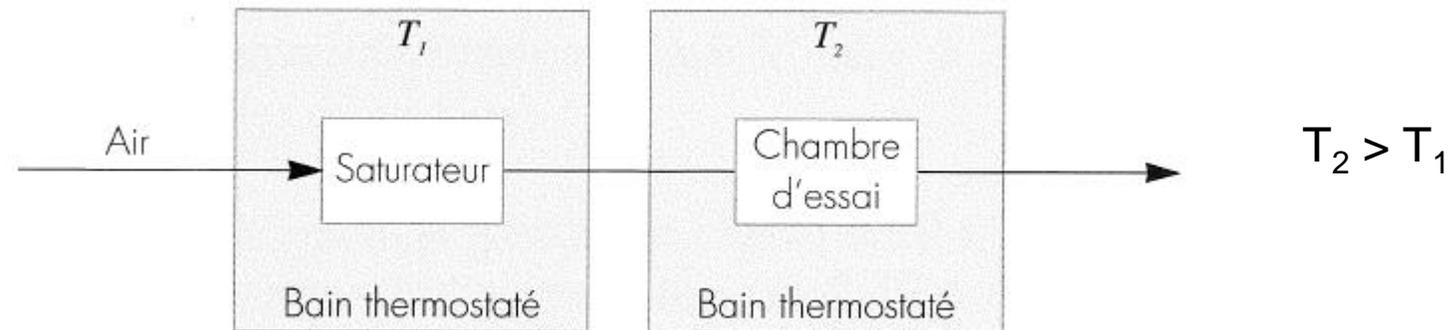
- » Générateur à mélange (ou dilution)



Moyens de vérification

» Générateur à 2 températures

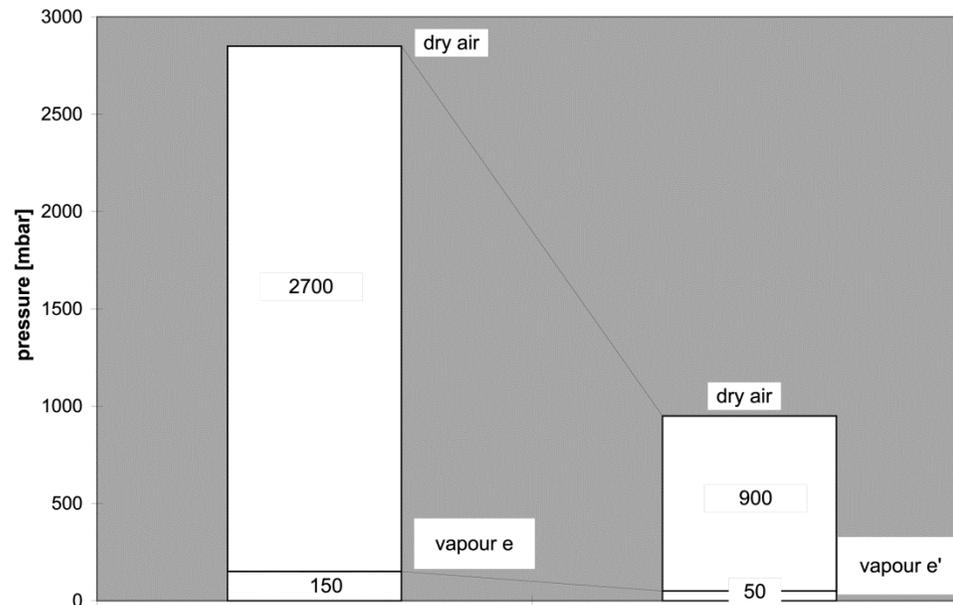
- » L'air saturé à une température T_1 est réchauffé à une température T_2 déterminée de façon à obtenir l'humidité relative recherchée. Ce système travail à pression constante. Si la qualité des bains thermostatés, l'efficacité du saturateur et les mesures de température sont maîtrisés, l'incertitude de l'humidité relative peut atteindre un niveau intéressant. Le principal inconvénient d'un tel système est son temps de réponse. La mise en équilibre thermique du saturateur et de la chambre d'essai peut être longue.



Moyens de vérification

» Générateur à double pression

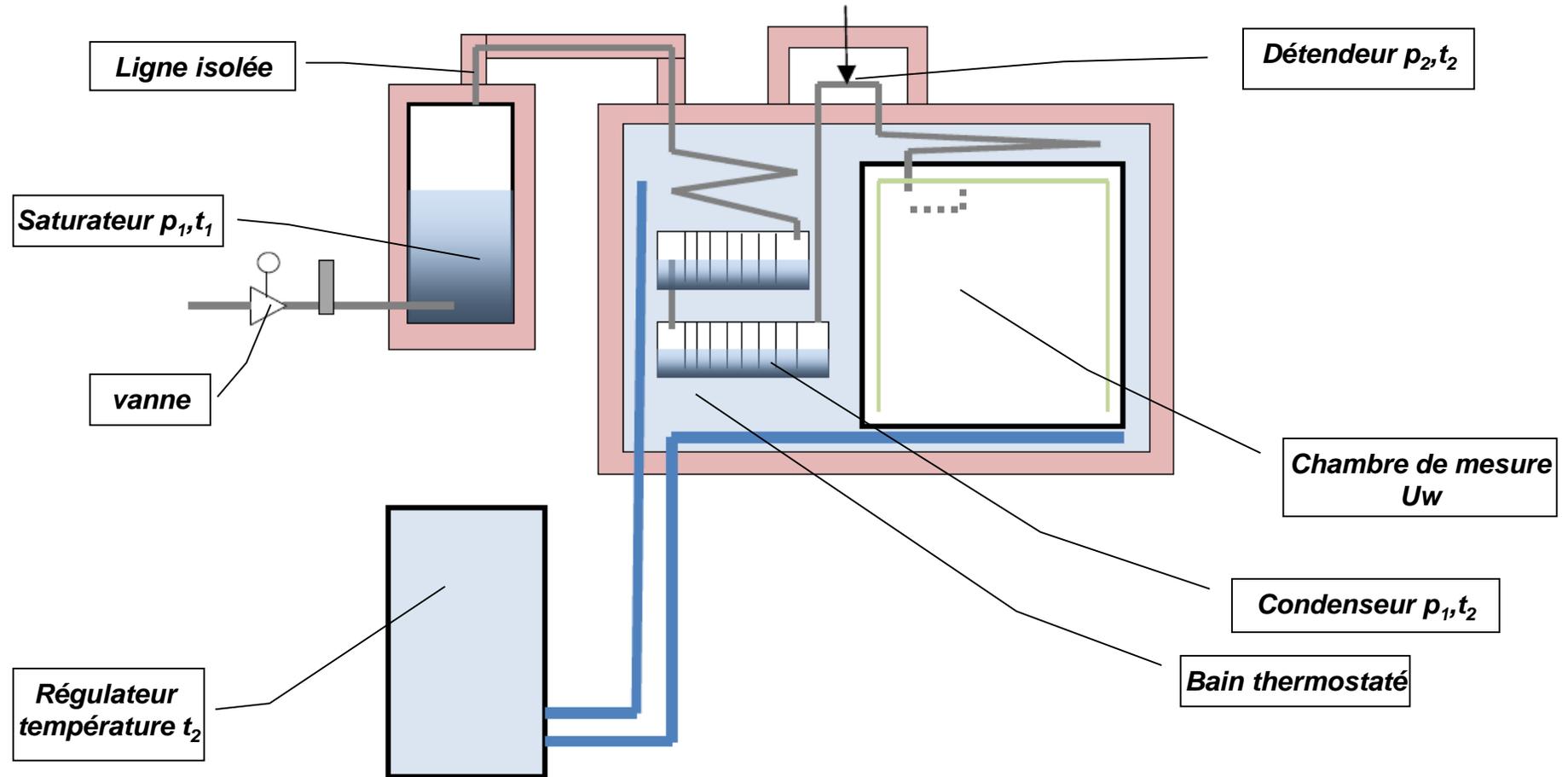
- » De l'air sous pression P_1 et à température T_1 est injecté dans le saturateur, il est ensuite détendu à pression P_2 , à température constante, dans la chambre de mesure pour obtenir l'humidité relative souhaitée. Le rapport des pressions P_2/P_1 nous donne le rapport des pressions partielles de vapeur d'eau, donc d'humidité relative.
- » Le principal avantage d'un tel système, basé sur un principe fondamentale, est le temps de réponse très court au changement d'échelon d'humidité relative.



$$e' = e \cdot \frac{P_2}{P_1}$$

$$U_w = \frac{e'}{e} = \frac{P_2}{P_1}$$

Moyens de vérification



Moyens de vérification



Conclusion

- » **Comme tout appareil de mesure, les sondes d'hygrométrie doivent être vérifiées régulièrement.**
- » **Le service qualité ou métrologie fixe la périodicité de vérification/étalonnage en fonction de la criticité des points de mesure.**
- » **Il est nécessaire d'adapter son moyen d'étalonnage (ou de la prestation) au niveau de l'incertitude cible que vous souhaitez atteindre.**

QUESTIONS ?

Bibliographie

- » <https://www.mbw.ch/products/humidity-measurement/473-dew-point-mirror/#Key%20Specifications-2>
- » « La mesure de l'humidité dans les gaz », Edition du BNM, Bernard Cretinon, Jacques Merigoux
- » FD-X 15-111 : Mesure de l'humidité de l'air - Généralités sur les instruments de mesure - Guide de choix et d'utilisation (Mai 2004)
- » NF-X 15-112 : Mesure de l'humidité de l'air. Hygromètres à condensation. Caractéristiques. (décembre 1994)
- » NF-X 15-113 : Mesure de l'humidité relative de l'air - Hygromètre à variation d'impédance (capacitif et résistif) (décembre 1997)
- » Développement d'un générateur d'air humide à dilution - Eric Georgin, Bruno Bondoux, Nicolas Bernard, Marzougui Salem - CETIAT – CIM 2013

***YOUR FLEXIBLE
PARTNER FOR
SENSOR SOLUTIONS!***

