

# La Mesure de l'Humidité dans les Gaz

## SOMMAIRE

### 1 INTRODUCTION

#### 1.1 Généralités

#### 1.2 Effet de l'humidité de l'air et quelques exemples d'application

- 1.2.1 Effet de l'humidité sur l'activité et le confort des humains
- 1.2.2 Le conditionnement d'air
- 1.2.3 L'industrie alimentaire
- 1.2.4 Effet de l'humidité sur les matériaux métalliques
- 1.2.5 Effet de l'humidité sur le bois
- 1.2.6 Effet de l'humidité sur les papiers et cartons
- 1.2.7 Effet de l'humidité sur les textiles
- 1.2.8 Effet de l'humidité sur les caoutchoucs
- 1.2.9 Effet de l'humidité sur le verre
- 1.2.10 Effet de l'humidité sur les revêtements organiques
- 1.2.11 Le séchage industriel
- 1.2.12 La détection des traces de vapeur d'eau dans les gaz
- 1.2.13 Le comportement des échangeurs thermiques

#### 1.3 La situation actuelle de l'hygrométrie

### 2 NOTIONS DE BASE DE L'AIR HUMIDE

#### 2.1 Introduction

#### 2.2 Définitions et grandeurs de base

- 2.2.1 Composition de l'atmosphère type
- 2.2.2 Air sec
- 2.2.3 Air humide
- 2.2.4 Air saturé
- 2.2.5 Fraction molaire de la vapeur d'eau d'un échantillon d'air humide ( $x_v$ )
- 2.2.6 Rapport de mélange ( $r$ )
- 2.2.7 Pression partielle de vapeur d'eau ( $e$ )
- 2.2.8 Humidité spécifique ( $q$ )
- 2.2.9 Humidité absolue ( $\rho_v$ )
- 2.2.10 Pression de vapeur saturante en phase pure ( $e_w, e_i$ )
- 2.2.11 Pression de vapeur saturante dans l'air humide et facteur d'augmentation ( $f_w, f_i$ )
- 2.2.12 Température de rosée ( $T_d$  ou  $\theta_d$ ) et température de gelée ( $T_f$  ou  $\theta_f$ )
- 2.2.13 Humidité relative de l'air humide ( $U, HR$  ou  $RH$ )
- 2.2.14 Température humide ( $T_w$  ou  $\theta_w$ )
- 2.2.15 Masse volumique de l'air humide ( $\rho_{ah}$ )
- 2.2.16 Volume spécifique de l'air humide ( $V_s$ )
- 2.2.17 Enthalpie

#### 2.3 Relations entre les grandeurs de base de l'air humide

- 2.3.1 Introduction
- 2.3.2 Relation entre le rapport de mélange et la température de rosée
- 2.3.3 Relation entre l'humidité relative, la température de rosée et la température
- 2.3.4 Relation entre la température humide et la température de rosée
- 2.3.5 Relation entre le volume spécifique et le rapport de mélange
- 2.3.6 Relation entre la masse volumique et le volume spécifique

## **2.4 Représentation des paramètres de l'air humide sur un diagramme**

2.4.1 Température de rosée à partir de la température et de l'humidité relative

2.4.2 Humidité relative à partir de la température et de la température de rosée

2.4.3 Température de rosée à partir de la température et de la température humide

## **3 LES DIFFERENTS TYPES D'HYGROMETRES**

### **3.1 Présentation générale**

### **3.2 Hygromètre à condensation**

3.2.1 Principe de mesure

3.2.2 Fonctionnement de l'hygromètre

3.2.3 Principales caractéristiques

3.2.4 Domaine d'utilisation

3.2.5 Erreur de justesse garantie par les constructeurs

3.2.6 Temps de réponse

3.2.7 Exemples d'hygromètres à condensation

3.2.8 Retour d'expérience du CETIAT

### **3.3 Hygromètre à variation d'impédance**

3.3.1 Principe de mesure

3.3.2 Hygromètre capacitif

3.3.3 Hygromètre résistif

3.3.4 Hygromètre à sonde interchangeable

3.3.5 Utilisation à des températures supérieures à 100 °C

3.3.6 Utilisation d'un diagramme des erreurs de justesse

3.3.7 Quelques modèles d'hygromètres à variation d'impédance

3.3.8 Retour d'expérience du CETIAT

### **3.4 Hygromètre à oxyde métallique**

3.4.1 Hygromètre à oxyde d'aluminium ( $Al_2O_3$ )

3.4.2 Hygromètre à oxyde de silicium

3.4.3 Hygromètre à support polymère

3.4.4 Quelques modèles d'hygromètres à oxyde métallique

### **3.5 Psychromètre**

3.5.1 Principe de mesure

3.5.2 Définition de la température humide

3.5.3 Équation du psychromètre idéal

3.5.4 Influence de la pression atmosphérique

3.5.5 Les psychromètres à aspiration

3.5.6 Domaine d'utilisation, erreur de justesse et temps de réponse

3.5.7 Avantages et inconvénients

3.5.8 Précautions particulières

3.5.9 Quelques modèles de psychromètres

3.5.10 Retour d'expérience du CETIAT

### **3.6 Hygromètre mécanique**

3.6.1 Principe de fonctionnement

3.6.2 Domaine d'utilisation, erreur de justesse et temps de réponse

3.6.3 Avantages, inconvénients, précautions d'emploi

3.6.4 Procédure de régénération d'un hygromètre mécanique

3.6.5 Étalonnage

### **3.7 Hygromètre électrolytique**

3.7.1 Principe de fonctionnement

3.7.2 Domaine de mesure, erreur de justesse et temps de réponse

3.7.3 Précautions d'emploi

### **3.8 Autres hygromètres**

3.8.1 Hygromètre à sorption

3.8.2 Hygromètre piézo-électrique

3.8.3 Hygromètre à absorption infrarouge

## **4 MISE EN ŒUVRE DES HYGROMETRES**

### **4.1 Mesure dans un volume**

- 4.1.1 Choix de l'emplacement
- 4.1.2 Protection des capteurs
- 4.1.3 Influence de l'opérateur et de l'environnement
- 4.1.4 Utilisation du capteur dans des conditions particulières

### **4.2 Mesure sur un process industriel**

- 4.2.1 Montages des capteurs
- 4.2.2 Exceptions

### **4.3 Mesure par prélèvement**

- 4.3.1 Principales difficultés
- 4.3.2 Précautions de mise en œuvre

### **4.4 Choix du matériel**

- 4.4.1 Filtre coalesceur
- 4.4.2 Filtre
- 4.4.3 Tuyauterie de prélèvement

## **5 ÉTALONNAGE DES HYGROMETRES**

### **5.1 Introduction**

- 5.1.1 Les raisons de l'étalonnage
- 5.1.2 Les principaux moyens d'étalonnage

### **5.2 La méthode gravimétrique**

### **5.3 Les générateurs d'air humide**

- 5.3.1 Le générateur à deux températures
- 5.3.2 Le générateur à deux pressions
- 5.3.3 Le générateur à mélange

### **5.4 Les solutions salines**

- 5.4.1 Solutions salines saturées
- 5.4.2 Solutions salines diluées

### **5.5 Les enceintes climatiques**

- 5.5.1 Principe de fonctionnement
- 5.5.2 Domaine de mesure

### **5.6 La chaîne nationale d'étalonnage en hygrométrie**

- 5.6.1 Structure de la chaîne d'étalonnage en hygrométrie
- 5.6.2 Laboratoire de référence de la chaîne hygrométrie
- 5.6.3 Laboratoires accrédités

## **6 GUIDE DE CHOIX DES HYGROMETRES**

### **6.1 Introduction**

### **6.2 Estimation des incertitudes de mesure**

- 6.2.1 Coefficient de sensibilité
- 6.2.2 Conclusions

### **6.3 Détermination de l'humidité relative à partir de la température de rosée**

- 6.3.1 Calcul de l'humidité relative
- 6.3.2 Exemples d'application

### **6.4 Application aux enceintes climatiques**

- 6.4.1 Introduction
- 6.4.2 Caractérisation et vérification d'une enceinte climatique
- 6.4.3 Conformité

### **6.5 Application à des mesures sur des installations d'air comprimé équipées de sécheur**

**7 NORMALISATION**

**8 PRINCIPAUX CONSTRUCTEURS**

**9 NOTATIONS ET SYMBOLES**

**10 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**11 ANNEXES**

ANNEXE 1 - Composition de l'air sec

ANNEXE 2 - Pression de vapeur saturante en phase pure au-dessus d'une surface d'eau liquide

ANNEXE 3 - Pression de vapeur saturante en phase pure au-dessus d'une surface de glace

ANNEXE 4 - Température de gelée et température de rosée

ANNEXE 5 - Valeurs du facteur d'augmentation

ANNEXE 6 - Détermination des paramètres hygrométriques en fonction des paramètres mesurés

ANNEXE 7 - Solutions salines saturées