

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 (γ_q)
- 2.2.9 Humidité absolue (ρ)
- 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 θ_d) et température de gelée (T_f ou θ_f)
- 2.2.13 Humidité relative de l'air humide (U , HR ou RH)
- 2.2.14 Température humide (T_w ou θ_w)
- 2.2.15 Masse volumique de l'air humide (ρ_{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

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