

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	1
1.1	Généralités	1
1.2	Effet de l'humidité de l'air et quelques exemples d'application	1
1.2.1	Effet de l'humidité sur l'activité et le confort des humains	1
1.2.2	Le conditionnement d'air	2
1.2.3	L'industrie alimentaire	2
1.2.4	Effet de l'humidité sur les matériaux métalliques	3
1.2.5	Effet de l'humidité sur le bois	4
1.2.6	Effet de l'humidité sur les papiers et cartons	4
1.2.7	Effet de l'humidité sur les textiles	4
1.2.8	Effet de l'humidité sur les caoutchoucs	4
1.2.9	Effet de l'humidité sur le verre	5
1.2.10	Effet de l'humidité sur les revêtements organiques	5
1.2.11	Le séchage industriel	5
1.2.12	La détection des traces de vapeur d'eau dans les gaz	5
1.2.13	Le comportement des échangeurs thermiques	5
1.3	La situation actuelle de l'hygrométrie	6
2	NOTIONS DE BASE DE L'AIR HUMIDE	7
2.1	Introduction	7
2.2	Définitions et grandeurs de base	7
2.2.1	Composition de l'atmosphère type	7
2.2.2	Air sec	7
2.2.3	Air humide	8
2.2.4	Air saturé	8
2.2.5	Fraction molaire de la vapeur d'eau d'un échantillon d'air humide (x_v)	8
2.2.6	Rapport de mélange (r)	8
2.2.7	Pression partielle de vapeur d'eau (e')	8
2.2.8	Humidité spécifique (q)	1
2.2.9	Humidité absolue (ρ_v)	1
2.2.10	Pression de vapeur saturante en phase pure (e_w, e_i)	1
2.2.11	Pression de vapeur saturante dans l'air humide et facteur d'augmentation (f_w, f_i)	4
2.2.12	Température de rosée (T_d ou θ_d) et température de gelée (T_f ou θ_f)	5
2.2.13	Humidité relative de l'air humide (U, HR ou RH)	5
2.2.14	Température humide (T_w ou θ_w)	7
2.2.15	Masse volumique de l'air humide (ρ_{ah})	7
2.2.16	Volume spécifique de l'air humide (V_s)	7
2.2.17	Enthalpie	7
2.3	Relations entre les grandeurs de base de l'air humide	8
2.3.1	Introduction	8
2.3.2	Relation entre le rapport de mélange et la température de rosée	9
2.3.3	Relation entre l'humidité relative, la température de rosée et la température	10
2.3.4	Relation entre la température humide et la température de rosée	10
2.3.5	Relation entre le volume spécifique et le rapport de mélange	10
2.3.6	Relation entre la masse volumique et le volume spécifique	10
2.4	Représentation des paramètres de l'air humide sur un diagramme	11
2.4.1	Température de rosée à partir de la température et de l'humidité relative	11
2.4.2	Humidité relative à partir de la température et de la température de rosée	12
2.4.3	Température de rosée à partir de la température et de la température humide	13
3	LES DIFFÉRENTS TYPES D'HYGROMÈTRES	15

3.1	Présentation générale	15
3.2	Hygromètre à condensation	15
3.2.1	Principe de mesure	15
3.2.2	Fonctionnement de l'hygromètre	15
3.2.3	Principales caractéristiques	17
3.2.4	Domaine d'utilisation	19
3.2.5	Erreur de justesse garantie par les constructeurs	19
3.2.6	Temps de réponse	20
3.2.7	Exemples d'hygromètres à condensation	20
3.2.8	Retour d'expérience du CETIAT	22
3.3	Hygromètre à variation d'impédance	23
3.3.1	Principe de mesure	23
3.3.2	Hygromètre capacitif	23
3.3.3	Hygromètre résistif	25
3.3.4	Hygromètre à sonde interchangeable	26
3.3.5	Utilisation à des températures supérieures à 100 °C	26
3.3.6	Utilisation d'un diagramme des erreurs de justesse	27
3.3.7	Quelques modèles d'hygromètres à variation d'impédance	27
3.3.8	Retour d'expérience du CETIAT	30
3.4	Hygromètre à oxyde métallique	30
3.4.1	Hygromètre à oxyde d'aluminium (Al_2O_3)	30
3.4.2	Hygromètre à oxyde de silicium	32
3.4.3	Hygromètre à support polymère	32
3.4.4	Quelques modèles d'hygromètres à oxyde métallique	33
3.5	Psychromètre	34
3.5.1	Principe de mesure	34
3.5.2	Définition de la température humide	34
3.5.3	Équation du psychromètre idéal	34
3.5.4	Influence de la pression atmosphérique	34
3.5.5	Les psychromètres à aspiration	35
3.5.6	Domaine d'utilisation, erreur de justesse et temps de réponse	36
3.5.7	Avantages et inconvénients	36
3.5.8	Précautions particulières	37
3.5.9	Quelques modèles de psychromètres	38
3.5.10	Retour d'expérience du CETIAT	39
3.6	Hygromètre mécanique	40
3.6.1	Principe de fonctionnement	40
3.6.2	Domaine d'utilisation, erreur de justesse et temps de réponse	40
3.6.3	Avantages, inconvénients, précautions d'emploi	40
3.6.4	Procédure de régénération d'un hygromètre mécanique	41
3.6.5	Étalonnage	41
3.7	Hygromètre électrolytique	42
3.7.1	Principe de fonctionnement	42
3.7.2	Domaine de mesure, erreur de justesse et temps de réponse	43
3.7.3	Précautions d'emploi	43
3.8	Autres hygromètres	44
3.8.1	Hygromètre à sorption	44
3.8.2	Hygromètre piézo-électrique	45
3.8.3	Hygromètre à absorption infrarouge	46
4	MISE EN ŒUVRE DES HYGROMÈTRES	47
4.1	Mesure dans un volume	47
4.1.1	Choix de l'emplacement	47
4.1.2	Protection des capteurs	47
4.1.3	Influence de l'opérateur et de l'environnement	48
4.1.4	Utilisation du capteur dans des conditions particulières	48

4.2	Mesure sur un process industriel	49
4.2.1	Montages des capteurs	49
4.2.2	Exceptions	50
4.3	Mesure par prélèvement	50
4.3.1	Principales difficultés	50
4.3.2	Précautions de mise en œuvre	52
4.4	Choix du matériel	53
4.4.1	Filtre coalesceur	53
4.4.2	Filtre	53
4.4.3	Tuyauterie de prélèvement	53
5	ÉTALONNAGE DES HYGROMÈTRES	55
5.1	Introduction	55
5.1.1	Les raisons de l'étalonnage	55
5.1.2	Les principaux moyens d'étalonnage	55
5.2	La méthode gravimétrique	56
5.3	Les générateurs d'air humide	57
5.3.1	Le générateur à deux températures	58
5.3.2	Le générateur à deux pressions	58
5.3.3	Le générateur à mélange	61
5.4	Les solutions salines	64
5.4.1	Solutions salines saturées	65
5.4.2	Solutions salines diluées	69
5.5	Les enceintes climatiques	71
5.5.1	Principe de fonctionnement	71
5.5.2	Domaine de mesure	72
5.6	La chaîne nationale d'étalonnage en hygrométrie	73
5.6.1	Structure de la chaîne d'étalonnage en hygrométrie	73
5.6.2	Laboratoire de référence de la chaîne hygrométrie	73
5.6.3	Laboratoires accrédités	77
6	GUIDE DE CHOIX DES HYGROMÈTRES	79
6.1	Introduction	79
6.2	Estimation des incertitudes de mesure	80
6.2.1	Coefficient de sensibilité	81
6.2.2	Conclusions	82
6.3	Détermination de l'humidité relative à partir de la température de rosée	83
6.3.1	Calcul de l'humidité relative	83
6.3.2	Exemples d'application	87
6.4	Application aux enceintes climatiques	88
6.4.1	Introduction	88
6.4.2	Caractérisation et vérification d'une enceinte climatique	89
6.4.3	Conformité	90
6.5	Application à des mesures sur des installations d'air comprimé équipées de sécheur	92
7	NORMALISATION	95
8	PRINCIPAUX CONSTRUCTEURS	97
9	NOTATIONS ET SYMBOLES	99
10	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	101
11	ANNEXES	103