



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

GUIDE

COMPTEURS ET CAPTEURS

BONNES PRATIQUES POUR CHOISIR ET INSTALLER LES POINTS
DE MESURE

JUILLET 2015

NEUF-RENOVATION

ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT- PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les **Recommandations Professionnelles** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les **Guides** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les **Calepins de chantier** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les **Rapports** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les **Recommandations Pédagogiques** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



Sommaire

INTRODUCTION	7
PRÉSENTATION DU GUIDE	9
1 - SPÉCIFICATIONS DES POINTS DE MESURE	11
1.1. • Tableau des points	11
1.2. • Mesures pour la gestion technique	13
1.3. • Suivis pour l'efficacité énergétique et protocole PIMVP	15
1.4. • Recommandations générales	18
2 - VALIDITÉ DES MESURES	21
2.1. • Qualités métrologiques	21
2.2. • Etalonnage	22
2.3. • Compensation	24
2.4. • Dossier des points de mesure	25
3 - TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE	26
3.1. • Applications	26
3.2. • Choix	27
3.3. • Emplacement	29
3.4. • Pose	30
3.5. • Maintenance	31
4 - ENSOLEILLEMENT, VENT ET PLUIE	32
4.1. • Applications	32
4.2. • Choix	33
4.3. • Emplacement	35
4.4. • Maintenance	37
5 - TEMPÉRATURE ET HUMIDITÉ AMBIANTE	38
5.1. • Applications	38
5.2. • Choix et raccordement d'un capteur de température	39
5.3. • Choix et raccordement d'un capteur d'humidité	41
5.4. • Emplacement	42
5.5. • Pose	43
5.6. • Maintenance	44
6 - QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR	45
6.1. • Applications	45
6.2. • Choix d'un capteur de qualité de l'air	46
6.3. • Emplacement	47
6.4. • Pose	48
6.5. • Maintenance	48



7 - ÉCLAIRAGE	49
7.1. • Applications	49
7.2. • Choix des capteurs et détecteurs	49
7.3. • Emplacement et pose	51
7.4. • Maintenance	53
8 - ÉNERGIE ÉLECTRIQUE	54
8.1. • Applications	54
8.2. • Choix d'un compteur d'énergie électrique	55
8.3. • Choix d'autres instruments	57
8.4. • Pose des instruments sur les installations	58
8.5. • Maintenance	59
9 - DÉBIT ET CONSOMMATION D'EAU	60
9.1. • Applications	60
9.2. • Choix d'un compteur d'eau	61
9.3. • Emplacement	64
9.4. • Pose	66
9.5. • Maintenance	67
10 - TEMPÉRATURE D'EAU	68
10.1. • Applications	68
10.2. • Choix	68
10.3. • Emplacement	70
10.4. • Pose	71
10.5. • Maintenance	72
11 - ÉNERGIE THERMIQUE	73
11.1. • Applications	73
11.2. • Choix d'un compteur	73
11.3. • Emplacement	78
11.4. • Pose et mise au point	80
11.5. • Maintenance	82
12 - TEMPÉRATURE ET HUMIDITÉ D'AIR EN CONDUIT	84
12.1. • Applications	84
12.2. • Choix du capteur de température	84
12.3. • Choix d'un capteur d'humidité	86
12.4. • Emplacement	87
12.5. • Pose	87
12.6. • Maintenance	88
13 - PRESSION D'AIR	90
13.1. • Applications	90
13.2. • Choix	90
13.3. • Emplacement et pose	91
13.4. • Maintenance	92
14 - VITESSE D'AIR	93
14.1. • Applications	93
14.2. • Choix	93
14.3. • Emplacement et pose	94
14.4. • Maintenance	95



15 - TEMPÉRATURE DE FUMÉE.....	96
15.1. • Applications	96
15.2. • Choix	96
15.3. • Emplacement et pose	97
15.4. • Maintenance.....	98
16 - CONSOMMATION DE GAZ.....	99
16.1. • Applications	99
16.2. • Choix	99
16.3. • Emplacement	102
16.4. • Pose.....	102
16.5. • Maintenance.....	103
17 - CONSOMMATION DE FIOUL.....	104
17.1. • Applications.....	104
17.2. • Choix.....	104
17.3. • Emplacement	105
17.4. • Pose et mise en service.....	106
17.5. • Maintenance.....	107
18 - CONSOMMATION DES COMBUSTIBLES SOLIDES	108
18.1. • Applications	108
18.2. • Choix	108
18.3. • Emplacement et pose	109
18.4. • Maintenance.....	109
19 - NIVEAU DE STOCKAGE	110
19.1. • Applications	110
19.2. • Choix	110
19.3. • Emplacement et pose	111
19.4. • Maintenance.....	112
20 - PRÉSENCE ET UTILISATION.....	113
20.1. • Applications	113
20.2. • Détecteurs de présence et d'utilisation.....	114
21 - RÈGLEMENTS THERMIQUES POUR LES MESURES.....	117
21.1. • Suivi des consommations	118
21.2. • Régulation des systèmes de chauffage et de refroidissement.....	120
21.3. • Pilotage de l'éclairage.....	123
22 - TERMINOLOGIE.....	126
23 - RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	130
24 - RÉFÉRENCES RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIVES	131
24.1. • Références réglementaires.....	131
24.2. • Références normatives.....	132

INTRODUCTION



POINTS DE MESURE

pour réguler, surveiller, superviser, suivre les consommations d'énergie dans les bâtiments

Les interventions des professionnels qui choisissent et mettent en œuvre les compteurs et capteurs sont déterminantes pour la maîtrise des fonctionnements des systèmes techniques du bâtiment et de leurs consommations :

- Les choix des produits déterminent la précision des mesures.
- L'emplacement des compteurs ou capteurs doit assurer la représentativité de la grandeur mesurée.
- Les règles concrètes de pose sont aussi déterminantes pour ces qualités métrologiques.
- L'entretien et les vérifications périodiques sont aussi nécessaires pour maintenir les performances.

Ce recueil de bonnes règles vise la qualité des mesures appliquées aux services techniques consommateurs d'énergie dans les bâtiments : chauffage, climatisation, ventilation, eau chaude sanitaire, éclairage ainsi que les systèmes de production par combustibles, solaire thermique, pompes à chaleurs, géothermie... Des mesures utiles aux suivis énergétiques sont également traitées : capteurs météorologiques, occupation des locaux.

Les critères de choix et de mise en œuvre des compteurs et capteurs ne sont pas indépendants des usages qui seront faits des mesures : régulation, surveillance, supervision, suivi énergétique, comptages destinés aux suivis, éventuellement associés aux termes d'un contrat d'efficacité énergétique ou encore destinés à individualiser les charges d'énergie.



Les enjeux qui dépendent des qualités des points de mesure doivent maintenant conduire à considérer ce poste comme un investissement particulier. L'efficacité de cet investissement passe par la mutualisation des données pour l'ensemble des usages actuels et futurs du bâtiment.

Les fonctions de régulation et d'automatisation qui pourront être implantées pour l'efficacité énergétique dépendent directement des mesures et des états qu'elles pourront traiter. Les logiciels de ces fonctions seront aisément modifiables, ce n'est pas le cas des capteurs, détecteurs et compteurs posés. Il pourra s'avérer que la mise en place ultérieure de nouveaux dispositifs entraîne des travaux coûteux ou qu'elle est même impossible, entraînant une limitation à la performance énergétique accessible par les technologies de l'information.

Pour ces raisons, l'ingénierie de conception se doit de traiter les points dans leur ensemble pour des prescriptions qui intègrent les différents usages des mesures par un tableau des points décrit au chapitre 1 (cf. 1).

Pour qualifier un bâtiment d'intelligent, il faut qu'il soit capable, au moins, d'émettre des informations techniques pertinentes. C'est la condition nécessaire pour qu'il puisse être relié à des réseaux d'information et de commandes non moins qualifiés d'intelligents ou de « smarts ».



PRÉSENTATION DU GUIDE



Ce guide pratique fournit une aide pour prévoir, installer et entretenir les moyens de mesure nécessaires au fonctionnement des installations économes en énergie. Il est aussi destiné à ceux qui appliquent des méthodologies pour maîtriser les performances, comme le Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique, PIMVP.

L'organisation du document permet de trouver l'information utile aux interventions des professionnels pour les études de conception, la prescription, les études de réalisation, l'installation et la maintenance. Les indications portées dans les chapitres 3 à 20 qui traitent des différents compteurs et capteurs sont plus spécialement destinées aux intervenants des phases successives, comme indiqué dans le tableau (Figure 1).

Chapitre 1 – SPÉCIFICATIONS : des indications pour la conception et la prescription des systèmes			
Chapitre 2 VALIDITÉ DES MESURES : les opérations d'étalonnage, de vérification et le dossier des points			
Chapitres 3 à 20 – LES DIFFÉRENTS TYPES DE POINTS DE MESURE et les opérations qui les concernent : choix, mise en œuvre et maintenance			
Opérations dans les phases	Études de réalisation	Réalisation, installation	Maintenance, exploitation
Choisir le dispositif	au bureau		
Déterminer l'emplacement	au bureau		
Poser		sur chantier	
Maintenir			au bureau*

* préparer la maintenance

▲ **Figure 1** : Dans les chapitres de ce guide : des recommandations pour les professionnels, de la conception à l'exploitation



Le chapitre 1 (cf. 1) est destiné aux prescripteurs considérant les mesures dans l'ensemble de leurs usages, depuis les points nécessaires aux fonctionnements des installations jusqu'à l'application de méthodologies visant l'énergie consommée, comme PIMVP ou les normes de management énergétique.

Le chapitre 2 (cf. 2) décrit les procédures qui permettent d'assurer la validité des mesures, des procédures particulièrement importantes pour les mesures des grandeurs qui font l'objet de contrats de résultats comme les CPE, Contrats de Performance Energétique.

Les chapitres 3 à 20 présentent des solutions pratiques pour mesurer, compter, détecter des états. Elles ne portent pas sur les moyens de transmission des informations, comme les bus ou réseaux, ni les moyens de traitement et d'affichage qui constituent des chaînes de mesure.

Dans ces chapitres, les indications pour le choix et la pose visent :

- La représentativité des grandeurs à mesurer.
- La précision de ces mesures.

Les performances des régulations, l'efficacité énergétique des bâtiments en dépendent.



Les indications qui se trouvent dans ce guide ne sauraient se substituer à celles qui sont données par les fournisseurs des dispositifs décrits.

Enfin, le chapitre 21 (cf. 21) rassemble les clauses des règlements thermiques qui spécifient des moyens de mesure et de comptage.

Dans les pages qui suivent, [Bx] renvoie aux références bibliographiques, [Rx] aux références réglementaires et [Nx] aux références normatives.

SPÉCIFICATIONS DES POINTS DE MESURE

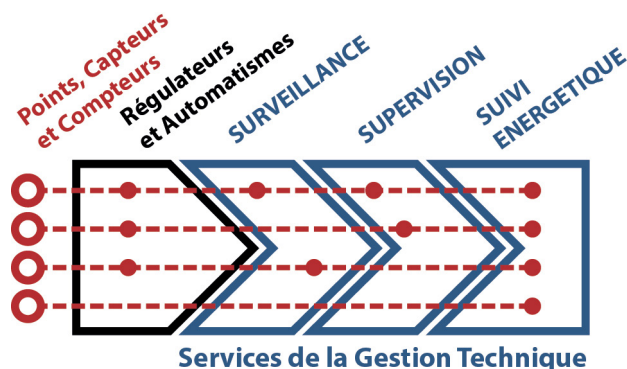


Ce chapitre donne des indications pour prescrire les mesures et comptages. Les spécifications doivent être adaptées aux utilisations qui en seront faites. Il est aussi nécessaire d'établir un plan des points de mesure afin de mutualiser ces moyens pour les différents usages.

1.1. • Tableau des points

Pour développer des services techniques et pouvoir bénéficier des évolutions des technologies de l'information, il serait préjudiciable de devoir poser des capteurs spécifiques au gré des besoins ou de devoir reprendre des réseaux de distribution de fluide ou d'énergie électrique pour ajouter des compteurs divisionnaires.

A l'étape de la conception, un plan doit considérer l'ensemble des points de mesure pour satisfaire les besoins actuels et les évolutions prévisibles de ces besoins. Il s'agit de permettre la mutualisation de cette ressource pour les différents usages.



▲ Figure 2 : Les usages mutualisés des données des points pour les automatismes et les missions de la gestion technique



Ce plan consiste à présenter un tableau des points ; c'est un outil très utile, de la conception jusqu'à l'exploitation. Ce tableau récapitule tous les dispositifs émetteurs d'informations élémentaires placés dans le bâtiment : points de mesure (informations des compteurs et capteurs), points d'état (états binaires émis par des détecteurs), compteurs (d'énergie, de temps, d'évènements).

Il établit des listes de points, regroupés par local, par zone ou par équipement. Un exemple est présenté en (Figure 3). Des spécifications plus détaillées de chacun des points peuvent compléter ce tableau.

La présentation de l'ensemble des mesures, comptages et états permet d'identifier les points qui doivent être mutualisés et qu'il convient d'équiper d'un transmetteur pour émettre un signal standard, 0-10 V ou 4-20 mA, ou d'interfacer sur un réseau numérique par un protocole ouvert, comme KNX, LONworks, Mbus ou BACnet.

	POINTS DE MESURE	SYSTEMES TECHNIQUES		MISSIONS DE LA GESTION TECHNIQUE		
		sécurités régulateurs automatés	système de GTB	surveiller	superviser	Suivre l'efficacité énergétique
Local référence	Humidité ambiante TMh1	X	X		X	X
	Température ambiante TA2	X	X		X	X
	Présence détectée TSp1		X	X	X	X
	Niveau d'éclairage TSe2	X	X		X	X
	Position store TMs1	X	X		X	X
Equipement référence	Température départ TMt12	X	X		X	X
	Température retour TMt13		X		X	
	Etat de marche brûleur TSb14		X		X	X
	Température chaudière TMt1		X		X	
	Compteur d'énergie TMen1		X			X
	Température ECS TMt10	X	X		X	X
	Alarme synthèse chaufferie	X	X	X		

▲ Figure 3 : Un exemple de tableau des points de mesure et d'état

Un tableau des points constitue un plan de comptage comme indiqué dans le document PIMVP [B4]. La conception des fonctions de régulation et d'automatisation met aussi en jeu un tableau des points.

La norme NF EN 15232 – Performance énergétique des bâtiments – Impact de l'automatisation de la régulation et de la gestion technique du bâtiment [N1]

Cette norme décrit les principes des tableaux des points pour les fonctions d'automatisation. Ces tableaux portent en lignes les points de mesure entrés et les points des actionneurs en sortie. Les colonnes portent sur les fonctions d'automatisation qui partagent ces ressources.

Les points installés servent en priorité aux fonctionnements des systèmes techniques. Les capteurs (TM, TCI) et détecteurs (TS, TA) permettent d'automatiser, réguler, assurer la sécurité.

Ces points situés dans les locaux techniques ou disséminés dans le bâtiment peuvent être reliés au système de GTB pour échanger, traiter, stocker les informations.

1.2. • Mesures pour la gestion technique

Dans la liste des points nécessaires aux fonctionnements des systèmes techniques, ceux qui sont utiles aux professionnels dans leurs missions de gestion technique sont remontés via le système de GTB (Figure 3).

Des dispositifs de comptage : énergie, durées de fonctionnement, nombre d'évènements, sont ajoutés pour la gestion technique, plus spécialement pour les suivis énergétiques.

La gestion technique consiste à viser tout ou partie de ces trois objectifs :

- **Surveiller** : Assurer la disponibilité des fonctionnements en informant les intervenants qui assurent l'entretien et la maintenance des équipements. Il s'agit principalement d'émettre des signalisations ou des alarmes, d'informer les professionnels pour faciliter leurs tâches, de suivre les interventions et de les enregistrer en historiques.
- **Superviser** : Satisfaire les qualités d'usages des bâtiments dans les meilleures conditions de coût et d'efficacité. Il s'agit principalement de mettre à la connaissance de plusieurs intervenants des états détaillés des équipements au moyen de synoptiques, éditions, enregistrements des historiques et de faciliter les interventions pour adapter les fonctionnements aux usages : ajustement des programmes horaires, réglages des consignes.
- **Suivre l'efficacité énergétique** : Connaître en détail des consommations dans le cadre d'un engagement, soit pour un bâtiment neuf, soit pour l'amélioration énergétique d'une partie d'un bâtiment. Il peut aussi s'agir de connaître les consommations détaillées dans le cadre d'un plan de suivi, pour un processus d'amélioration continue.



Le tableau des points est basé sur une organisation en couches, elle consiste à ne traiter les fonctionnalités d'un niveau n qu'après avoir entièrement satisfait toutes les fonctionnalités dévolues au niveau inférieur $n-1$, en effet :

- Le système de GTB ne doit pas remonter des données de points de mesure qui ne seraient pas vérifiées (en particulier le câblage, le référencement des points), sous peine de perdre la crédibilité de l'ensemble du système et de risquer sa désaffectation.
- La surveillance des installations ne peut pas être menée si les équipements ne sont pas suffisamment sécurisés, automatisés.
- La supervision ne peut pas être efficace sans surveillance et remède aux aléas des fonctionnements, dès qu'ils sont détectés (maintenance corrective) ou mieux, avant (maintenance prédictive).
- Les suivis énergétiques, qu'ils se trouvent ou non dans le cadre d'un engagement, utilisent des données de la surveillance pour la connaissance des aléas, des données de la supervision pour les constats de la satisfaction des qualités d'usage.

En tout état de cause, si les missions de surveillance et de supervision ne sont pas menées avec les qualités attendues, le suivi énergétique ne pourra pas apporter les bénéfices escomptés. Les informations issues de la plupart des points sont nécessaires pour analyser les consommations, leurs effets et les grandeurs qui les influencent.

Cette description en couches est utilisée pour spécifier des systèmes complexes, comme les systèmes de communication qui utilisent des protocoles pour échanger des données numériques sur les réseaux. Le modèle OSI (Open System Interconnection) a permis le développement des protocoles ouverts en ayant segmenté les problèmes à traiter couche par couche et spécifié précisément les données transmises aux interfaces des couches.

De la même façon, la gestion technique décrite par ces trois missions identifiées permet de répartir les tâches entre plusieurs intervenants au sein d'une même organisation, en interne ou aux termes de contrats de service.

Il reste que pour appliquer cette décomposition, il faut spécifier la nature de toutes les données transmises d'une couche vers celle qui lui est supérieure ainsi que, évidemment, les formats de leur présentation informatique.

Cette manière de faire est particulièrement profitable aux qualités de la dernière mission : suivi énergétique. Elle traite les données issues des points de mesure, à l'origine de la chaîne et elle doit disposer des informations émises par les deux autres missions.



1.3. • Suivis pour l'efficacité énergétique et protocole PIMVP

PIMVP – Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance – Concepts et options pour l'évaluation des économies d'énergie et d'eau [B4]

Ce document décrit les usages des mesures pour maîtriser l'énergie dans les bâtiments, il est reconnu au plan international. Ce protocole sert de méthodologie dans la plupart des contrats de performance énergétique. Il est remis à jour périodiquement, il faut donc indiquer la référence du volume du PIMVP et la date de l'édition nationale pour spécifier le protocole.

Les procédures décrites visent à mesurer et vérifier (M&V) les consommations avec l'objectif de quantifier des économies et de les isoler si plusieurs mesures d'économie sont mises en place conjointement.

Les activités de mesure et vérification (M&V) incluent les études sur le site, la mesure des flux d'énergie ou d'eau, la mesure des grandeurs d'influence, les calculs et les rapports.

Parmi les 13 points qui décrivent le plan M&V, 3 indications portent sur les points de mesure :

- Spécifier l'instrumentation utilisée, son exploitation et sa maintenance.
- Spécifier la précision attendue quant aux résultats.
- Indiquer les procédures d'assurance qualité suivies dans les opérations de M&V.

Les traitements des incertitudes des mesures sont détaillés en annexe B du document PIMVP. La (Figure 4) complète les indications données dans ce document pour les erreurs qui peuvent être attendues des points de mesure.

Grandeur mesurée, unité de mesure	Chapitre	EMT, valeur typique	Remarques
Température extérieure °C	3	± 0,3 K	Préférer les capteurs à résistance métallique (Pt ou Ni) pour la précision et la fidélité
Température ambiante °C	5	± 0,3 K	
Température d'eau °C	10	± 0,5 K	
Température d'air en conduit °C	12	± 0,3 K	
Température de fumé °C	15	± 0,5 K	Utiliser des sondes pyrométriques spéciales pour les hautes températures
Humidité ambiante HR %	5	± 5 %	Une vérification et un ré-étalonnage périodique peuvent permettre de maintenir une EMT de ±3 %
Humidité en conduit HR %	12	± 5 %	



Grandeur mesurée, unité de mesure	Chapitre	EMT, valeur typique	Remarques
Pression d'air Pa	13	± 2 %	
Vitesse d'air m/s	14	± 5 %	Une vérification et un ré-étalonnage périodique peuvent permettre de maintenir une EMT de ±3 %
Débit m ³ /h Consommation d'eau m ³	9	± 2 %	Un débit d'eau peut aussi se mesurer au moyen d'un compteur
Energie électrique kWh	8	± 1 %	Il existe des solutions techniques particulières pour mesurer une énergie électrique divisionnaire sans nécessiter la pose d'un compteur traditionnel
Energie thermique kWh	11	± 3 à 6 %	Le couple de capteurs de températures doit être apparié, quoi qu'il en soit, la précision se dégrade pour les faibles différences de températures
Consommation de gaz m ³	16	± 1 %	
Consommation de fioul litres	17	± 1 %	
Niveau de stockage %	19	± 3 %	

▲ Figure 4 : Principales caractéristiques des points de mesure

1.3.1. • Normes pour la gestion énergétique

La norme NF EN ISO 50001 : Systèmes de management de l'énergie – Exigences et recommandations de mise en œuvre [N2]

Elle fait référence aux plans de Mesure et Vérification du protocole PIMVP.

Cette norme spécifie les exigences en matière de système de management de l'énergie permettant à un organisme d'élaborer et mettre en œuvre des objectifs et une politique. Elle décrit un processus d'amélioration continue qui consiste à suivre les consommations et les conditions de fonctionnement au fil du temps afin de décider des actions.

La méthodologie est désignée PDCA (Plan-Do-Check-Act), Planifier – Faire – Vérifier – Agir :

- Planifier : Etablir les objectifs et les processus nécessaires pour fournir des résultats correspondant à la politique énergétique de l'organisme.
- Faire : Mettre en œuvre les processus.
- Vérifier : Surveiller et mesurer les processus en fonction de la politique énergétique, des objectifs, des cibles, des obligations légales et des autres exigences auxquelles l'organisme souscrit, et rendre compte des résultats.

- Agir : Entreprendre les actions pour améliorer en permanence la performance du système de management de l'énergie.

La norme ISO 50001 est cohérente avec les autres systèmes de management décrits par les normes ISO 9001 et ISO 14001, elle les complète.

Elle peut être appliquée pour une certification, une auto-déclaration ou auto-évaluation.

La norme NF EN 15900 : Services d'efficacité énergétique – Définitions et exigences [N3]

Cette autre norme traite des services, elle donne des définitions et exigences minimales relatives à un service d'efficacité énergétique. Elle fournit des recommandations aux clients et aux prestataires de services d'efficacité énergétique, comme mentionné dans l'Article 1 de la Directive 2006/32/CE relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques.

1.3.2. • Enregistrement des mesures

Les mesures et les états utiles à la surveillance et la supervision sont enregistrés en historiques sur un support numérique. Ces informations doivent être disponibles pour la mission de suivi énergétique, elles seront complétées par des mesures de consommations d'énergies, de durées de fonctionnement et de grandeurs supplémentaires propres au suivi.

Il convient donc de spécifier les principales caractéristiques de tous les enregistrements afin de les mutualiser et de faciliter leur exploitation.

Pour cela, les spécifications doivent porter sur ces caractéristiques :

- Format et organisation des enregistrements pour permettre les traitements par des progiciels courants, désignés.
- Périodes des enregistrements : cadences fixes ou enregistrement sur évènement horodaté permettant de créer des séries temporelles. Les cadences dépendent des usages, des indications sont données à la (Figure 5).
- Synchronisation des enregistrements.



Période de mesure	Usage des données	Nature des points
1 minute ou 10 minutes	Analyser les fonctionnements des équipements et de leurs régulations. Observer la stabilité des boucles de régulation, en particulier : températures ambiantes, de fluide caloporteur, d'ECS...	Détections des états de fonctionnement des équipements. Mesures des grandeurs qui caractérisent les fonctionnements des équipements.
1 heure aux heures légalés ou décalée	Analyser les fonctionnements des équipements. Identifier les comportements thermiques du bâtiment. Comparer les mesures aux simulations basées sur des modèles.	Idem ci-dessus, ainsi que : Mesures des grandeurs météorologiques, des occupations des locaux.
1 jour de 0 à 24 h ou décalé	Analyser les comptages en détail.	Idem ci-dessus, ainsi que : Relevés des compteurs d'eau et d'énergie pour une journée.
1 semaine lundi au dimanche ou période décalée	Corréler des consommations d'énergie avec leurs variables d'influence : météorologie, usages, occupations... Établir une signature énergétique.	Idem ci-dessus, ainsi que : Relevés des compteurs exploitables pour une semaine.
1 mois du 1^{er} au dernier jour du mois ou période décalée	Connaître les conditions météorologiques. Suivre les usages réels des bâtiments. Comparer les consommations : – entre mêmes périodes – entre bâtiments – avant-après améliorations énergétiques	Idem ci-dessus, ainsi que : Relevés des compteurs exploitables pour un mois.
1 saison de chauffage ou cli- matisation (dates de début et de fin indiquées)	Établir un indicateur de consommation saisonnier. Établir des décomptes pour la répartition des coûts des consommations.	Idem ci-dessus, ainsi que : Relevés des compteurs et des répartiteurs pour facturation.
1 année civile ou décalée (dates de début et de fin indiquées)	Établir un indicateur de consommation annuel. Comparer les consommations entre les années et entre bâtiments.	Idem ci-dessus.

▲ Figure 5 : Périodes d'enregistrement des données selon leurs usages

Pour exploiter les informations des mesures, il s'agit en premier lieu de créer des séries temporelles synchrones, horodatées à partir des données : enregistrements périodiques, évènements enregistrés, relevés manuels de compteurs, des factures des fournisseurs d'énergie et d'eau, indications notées dans les livrets, défauts de fonctionnements, conditions d'occupation des locaux.

Si des données enregistrées manquent pour des raisons fortuites, si ces durées sont limitées et si l'incertitude introduite est tolérable, elles peuvent être reconstruites par extrapolation ou interpolation.

1.4. • Recommandations générales

Cette liste de recommandations est destinée à faciliter l'exploitation des points de mesure. Certaines d'entre elles peuvent être utiles aux stades des études, reprises dans les clauses des marchés de réalisation ou encore servir de liste de contrôle des opérations à mener au moment de la mise en service de la gestion technique.



Les règlements thermiques qui concernent les points de mesure sont récapitulés au chapitre 21 (cf. 21). Les règlements énergétiques anciens obligeaient à la mise en place de comptages d'énergie. Les réglementations thermiques actuelles sont plus complètes à ce sujet.

La prédisposition aux mesures ultérieures

Il s'agit de prévoir des facilités pour installer ultérieurement des capteurs ou compteurs qui n'équipent pas nécessairement l'installation neuve, par exemple :

- Prédisposer des longueurs droites horizontales sur les circuits hydrauliques afin de permettre de placer le mesureur de débit d'un compteur d'énergie thermique.
- Prévoir des doigts de gant supplémentaires à certains emplacements afin de permettre d'étalonner des mesures de températures par comparaison ou de diagnostiquer des dysfonctionnements par des mesures de températures (comme la circulation inversée dans des bouteilles de découplage hydraulique).

Le choix des compteurs et capteurs

- Choisir autant que possible, pour chaque type d'appareil, des dispositifs du même modèle pour équiper un site. Cela permet d'interchanger des sondes afin de lever des doutes en cas de dysfonctionnement ou de comparer les mesures issues de capteurs différents pour identifier l'origine d'un éventuel écart.
- Prévoir dans le lot des pièces de rechange pour réduire les durées d'indisponibilité en cas de défaillance.
- Prévoir des dispositifs qui simulent les signaux des capteurs pour la mise au point et la maintenance.
- Choisir la résolution des compteurs en fonction de la période des relevés (Figure 5).

L'installation des points de mesure

- Doubler les doigts de gant pour des sondes de température d'eau des compteurs d'énergie thermique, afin de pouvoir vérifier l'écart de mesure entre les deux capteurs placés à la même température.
- Prévoir un volume libre suffisant autour des sondes et autres appareils afin de pouvoir y accéder et intervenir aisément.
- Etiqueter tous les points de mesure par un repère mnémotechnique aisément lisible, repris à l'identique dans les dossiers techniques de réalisation tels que DOE, DIUO.



- Repérer de la même façon tous les points de mesure indiqués sur les synoptiques, en particulier ceux qui sont désignés sur les écrans du système de GTB.

Les raccordements

- Raccorder les dispositifs par des câbles de longueur suffisante pour permettre de les déconnecter aisément (boucle de réserve).
- Prévoir des raccordements qui permettent le remplacement du capteur par un émetteur qui simule le signal afin de vérifier la chaîne de transmission et de traitement.

En fin du chantier

- Après la pose, récupérer les emballages des produits, suivant la gestion des déchets de chantier.
- Conserver les notices, instructions pour le montage et/ou pour la maintenance. Ces documents se trouvent parfois dans les emballages des appareils, pour être conservés, ils sont placés dans les dossiers techniques remis à la réception.
- A la réception, placer les accessoires qui peuvent accompagner certains produits capteurs ou compteurs dans le lot des pièces détachées.

VALIDITÉ DES MESURES

2



2.1. • Qualités métrologiques

Pour que les mesures puissent être utilisées avec confiance par les services de la gestion technique, la représentativité et la maîtrise des erreurs sont des préoccupations de ceux qui installent et entretiennent les installations.

2.1.1. • Pour des mesures représentatives

Les indications qui se trouvent dans les chapitres 3 à 20 pour choisir les points et les poser visent la représentativité, c'est-à-dire la concordance de la mesure au niveau du point et de la grandeur physique à quantifier. Pour les installations climatiques, la représentativité consiste principalement à prendre des précautions pour qu'une mesure ponctuelle (température, humidité, vitesse, niveau) soit suffisamment représentative d'une valeur moyenne dans un plan ou dans un volume de fluide. Il n'est pas toujours possible de placer un capteur à l'endroit susceptible d'assurer cette représentativité, qu'il s'agisse de le poser sur une installation, dans un local ou à l'extérieur du bâtiment. Dans certains cas, il est possible de compenser une divergence entre une mesure ponctuelle et la grandeur désirée par la moyenne d'une surface ou d'un volume étendu.

2.1.2. • Pour des mesures précises

La maîtrise des écarts entre la valeur « vraie » et l'information issue du capteur ou du compteur consiste concrètement à appliquer des méthodes qui visent la qualité des mesures. Elles consistent à étalonner, à vérifier périodiquement l'étalonnage (ré-étalonner) et à consigner ces opérations dans un dossier.



Les intervalles de confiance (ou EMT, Erreur Maximale Tolérable) indiqués à la (Figure 4) sont des valeurs indicatives, elles peuvent être plus réduites par des opérations de ré-étalonnage. Des divergences plus importantes peuvent aussi venir d'un manque de préoccupations en matière de métrologie, des erreurs tolérables peuvent devenir intolérables.

2.1.3. • Les compteurs pour facturer l'eau ou l'énergie

L'attestation des qualités métrologiques de ces compteurs font l'objet de nombreuses normes et règlements spécifiques. Les caractéristiques des compteurs neufs sont vérifiées par un organisme tiers accrédité, comme le LNE (Laboratoire National d'Essai). Les normes, les règlements et les procédures qui s'appliquent à ces compteurs sont destinées à leurs fabricants et aux fournisseurs d'énergie, propriétaires des compteurs. Ils ne sont pas dans l'objet de ce recueil. Cependant, pour des comptages divisionnaires, le choix de ces appareils est conseillé pour leurs qualités métrologiques et leur grande diffusion.

2.2. • Etalonnage

Un étalonnage permet de déterminer les écarts des indications d'un capteur de mesure comparées à celles d'un étalon, c'est-à-dire un dispositif dont l'EMT est plus réduite : un autre capteur, un appareil de mesure ou un générateur qui procure une valeur probablement plus proche de la valeur vraie de la grandeur à mesurer.

2.2.1. • L'étalonnage initial des compteurs et capteurs

Les tolérances de mesure spécifiées par le fabricant sont atteintes par un étalonnage au moment de la fabrication. Il consiste soit à trier les éléments sensibles selon la valeur de leur erreur, soit à compenser cette erreur par des paramètres du transmetteur. Ces procédures sont attestées par des certifications. Elles sont décrites par des normes comme celles de la série ISO 9000, plus spécialement ISO 9001. La norme NF EN ISO 10012 « Systèmes de management de la mesure – Exigences pour les processus et les équipements de mesure » complète ces exigences, elle décrit des procédures pour maîtriser les qualités métrologiques dans l'entreprise.

2.2.2. • La vérification de l'étalonnage in situ

Pour conserver les qualités métrologiques des points de mesure au long de leur durée d'exploitation, des opérations d'étalonnage sont menées sur les points de mesure installés. Il s'agit de surveiller les

caractéristiques des dispositifs afin de détecter une défaillance, constater une dérive ou une anomalie de mesure. Il peut s'agir aussi de porter remède : réinitialiser l'appareil, ré-étalonner, re-paramétrer ou remplacer un dispositif défaillant. Le document OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale) D 10 « Guide pour la détermination des intervalles de calibration des instruments de mesure » décrit plusieurs méthodes.

Ces vérifications sont le plus souvent périodiques, comme tous les ans ou plus, selon les indications du fabricant. Elles peuvent aussi être menées par intervalles de temps variables. Les durées entre les vérifications peuvent en effet dépendre de plusieurs facteurs tels que les conditions d'utilisation, l'environnement, les durées de fonctionnements aux conditions limites, le vieillissement.

Les étalons sur les sites

Pour les installations de génie climatique, l'étalon peut être :

- Un dispositif neuf étalonné par le fabricant.
- Un dispositif étalonné périodiquement chez le fabricant ou en laboratoire, avec l'attestation.
- Un dispositif conservé dans un environnement préservé, pour sa stabilité.

Les opérations d'étalonnage

L'étalonnage in situ consiste à mener une opération telle que :

- Placer l'étalon au plus proche du dispositif et comparer les résultats. C'est le cas, par exemple, pour une mesure de température ou d'humidité.
- Remplacer le dispositif par l'étalon si la grandeur mesurée reste stable et comparer. Par exemple : pour une mesure de pression en conduit.
- Déposer le dispositif à étalonner, le placer dans les mêmes conditions que l'étalon et comparer. C'est le cas pour une mesure de température d'eau, par exemple. Pour la mesure d'une différence de températures, les deux capteurs sont placés dans un récipient, à la même température, pour un écart nul.
- Déposer le dispositif et le placer dans des conditions connues. Par exemple : un capteur de température placé dans la glace fondante à 0°C. Pour un capteur de pression, il est possible de le connecter à un générateur étalon. Pour les grandeurs électriques, il existe des générateurs étalon de tension ou de courant.
- Transmettre le dispositif à étalonner au fabricant ou à un laboratoire.



2.3. • Compensation

La compensation d'un écart systématique peut consister à enregistrer un simple écart en comparant la mesure avec une mesure étalon, inaccessible en fonctionnement normal. Cet écart est ensuite ajouté à la mesure pour la compenser. Par exemple : enregistrer la différence entre la mesure d'un capteur de température ambiante en paroi et celle qui est mesurée temporairement par un thermomètre résultant au centre du local, en période de chauffage. La différence est ensuite utilisée pour compenser la mesure de température en paroi (le capteur doit être aussi sensible à la température d'air qu'à la température radiante) et approcher ainsi la température résultante. Une telle compensation ne s'applique que pour des conditions similaires : en période de chauffage, par exemple. Il est préférable de mener plusieurs comparaisons, dans différentes conditions, pour établir la compensation.

La compensation peut aussi consister à corriger le résultat d'une mesure par une autre. Par exemple : un capteur de température ambiante placé sur une paroi peu isolée thermiquement peut être compensé par la mesure de la température extérieure. Autre exemple : un capteur de température extérieure soumis au rayonnement solaire direct peut être compensé par une mesure d'ensoleillement sur la même façade.

En résumé, qu'il s'agisse d'étalonner ou de compenser, l'écart de mesure peut se manifester sur la courbe d'étalonnage :

- soit par un simple décalage parallèle de la relation (linéaire, le plus souvent) entre la mesure du capteur et la valeur « vraie », donnée par l'étalon. Cet écart est exprimé dans l'unité de la grandeur mesurée. La vérification de ce décalage est aisée pour les capteurs qui doivent donner une valeur nulle en sortie pour une grandeur mesurée nulle, comme les capteurs de luminosité, de pression relative, de vitesse, de débit ou pour la mesure d'une différence de températures en K.
- soit par un décalage à l'origine et par une différence de pente de cette droite. Cette pente est la sensibilité du capteur. Elle fait correspondre la sortie du capteur et la mesure de la grandeur. La différence de pente est généralement donnée en %. La vérification du décalage et de la pente nécessite deux points d'étalonnage, sauf si le décalage à l'origine peut être annulé pour la mesure nulle.



2.4. • Dossier des points de mesure

Le dossier des points de mesure est destiné au maintien de la qualité des mesures pour la gestion technique, en particulier pour les suivis énergétiques.

Ce dossier comporte :

- Le tableau des points (cf. 1).
- Les références pour identifier individuellement les points de mesure dans le bâtiment. Ces références sont identiques à celles qui se trouvent sur les synoptiques et sur les étiquettes des appareils posés.
- Les notices techniques des fournisseurs de tous les compteurs et capteurs ou de tous les types d'appareils.
- Les EMT (Erreur Maximale Tolérable) indiquées par les fournisseurs des points.
- La désignation des appareils utilisables pour étalonner.
- Les interventions d'étalonnage, de réparation et de changement.

Les historiques des opérations d'étalonnage et de vérification sont enregistrés dans le dossier avec les dates, noms des opérateurs, nature des opérations, références des étalons, ainsi que les certificats des étalonnages faits à l'extérieur de l'entreprise. Ces enregistrements permettent d'assurer la traçabilité des opérations.

Une attestation de l'assurance qualité des mesures est particulièrement utile si les mesures sont utilisées pour vérifier des consommations, les conditions de fonctionnement et les usages qui en sont faits, dans le cadre d'une garantie de performance énergétique.

Textes réglementaires sur les mesures et comptages

Décret du 3 mai 2001 modifié relatif au contrôle des instruments de mesure

Arrêté du 31 décembre 2001 modifié fixant les modalités d'application de certaines dispositions du décret du 3 mai 2001 relatif au contrôle des instruments de mesure

Recommandation Internationale R 75, Compteurs d'énergie thermique, Organisation Internationale de Métrologie légale (OIML), 2002

Directive 2004/22/CE du parlement européen et du conseil du 31 mars 2004 sur les instruments de mesure

Décret du 12 avril 2006 relatif à la mise sur le marché et à la mise en service de certains instruments de mesure

Arrêté du 28 avril 2006 fixant les modalités d'application du décret du 12 avril 2006 relatif à la mise sur le marché et à la mise en service de certains instruments de mesure

Arrêté du 3 septembre 2010 relatif aux compteurs d'énergie thermique



TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE

3



3.1. • Applications

La mesure de la température extérieure est essentielle en génie climatique. La majorité des bâtiments en sont équipés, pour ces différents usages :

- régulation centrale des installations de chauffage à eau chaude en fonction de l'extérieur (loi de correspondance température d'eau – température extérieure dite « loi d'eau » ou « courbe de chauffe »)
- régulation centrale des installations de climatisation, en complément aux autres grandeurs d'influence, ou pour des fonctions spécifiques comme le rafraîchissement gratuit « free cooling » par exemple
- optimisation des intermittences journalières des installations de chauffage
- surveillance pour protéger contre les risques de gel
- supervision des fonctionnements, historiques, tableaux de bord
- établissement des degrés-jours du site
- information des usagers, affichages sur écrans des conditions du moment
- suivis des consommations des installations de génie climatique en relation avec les conditions météorologiques

3.2. • Choix

Les éléments sensibles des capteurs de température extérieure utilisent l'une ou l'autre de ces technologies :

- résistances métalliques, généralement en platine ou en nickel (Pt100, Ni1000 par exemple), dont la résistance ohmique augmente avec la température. Des indications pour raccorder ces capteurs se trouvent au chapitre 5.2 (cf. 5.2)
- thermistances, en matériaux semi-conducteurs dont la résistance varie également avec la température, selon un coefficient négatif (CTN) ou positif (CTP). Leur résistance est plus élevée que celle des résistances métalliques

Les résistances métalliques font l'objet de standards, ce qui n'est pas le cas des thermistances qui ne sont pas interchangeables.

L'élément sensible se trouve, selon les cas :

- dans un capot à fixer sur une paroi verticale : c'est le cas en général pour les capteurs destinés à réguler le chauffage
- sous une protection ventilée naturellement (par exemple à coupelles) (Figure 6), lorsqu'il s'agit de mesurer la température extérieure avec une meilleure précision et une meilleure représentativité. Cette protection permet de préserver la sonde de l'influence de la paroi, du rayonnement solaire et des intempéries et de leur assurer une bonne ventilation



▲ Figure 6 : Sonde de température extérieure sous protection à coupelles

La mesure de la température extérieure par une sonde dans le conduit d'admission d'air neuf permet de soustraire le capteur aux influences



extérieures. Des informations sur ces sondes se trouvent au chapitre 12 (cf. 12).

Les principaux critères pour choisir un capteur de température extérieure :

- plage utile : de -30 à $+50$ °C
- erreur tolérable : $\pm 0,3$ K est généralement acceptable pour le suivi énergétique des bâtiments. L'erreur d'interchangeabilité est limitée à ± 1 K (norme NF EN 12098-1). Compte tenu de l'effet important sur la consommation d'un tel écart, le réglage de la loi de correspondance du régulateur doit être ajusté en utilisant une mesure de la température ambiante obtenue
- fidélité : la stabilité dans le temps de la précision est une qualité importante, le réglage de la loi de correspondance du régulateur doit pouvoir être conservé plusieurs années. Les éléments sensibles à résistance métallique présentent la meilleure fidélité
- temps de réponse : pour la régulation, il convient de choisir un temps de réponse relativement élevé pour ne pas prendre en compte des variations rapides, sans signification pour réguler le chauffage. Les sondes placées en paroi peuvent être soumises à des variations de température par des déplacements de l'air autour des bâtiments. L'inertie des sondes qui pilotent le chauffage est augmentée par une masse qui enrobe le détecteur dans le boîtier et par le contact avec la paroi extérieure
- indice de protection du boîtier : IP 43 suffit pour un capteur placé à l'extérieur. Il désigne une protection contre l'eau de pluie et contre les petits corps solides

Les sondes de température extérieure peuvent être associées à des capteurs de vent, de pluie ou de luminosité pour constituer une station météorologique (cf. 4).

Le raccordement des sondes passives peut se faire par un montage à 2, 3 ou 4 fils (cf. 5.2).

La transmission de l'information peut aussi se faire par un signal analogique, de type 0-10 V ou 4-20 mA ou une information numérique qui peut être transmise sans fil.

Une transmission sans fil présente des avantages : l'installation, le déplacement éventuel sont facilités, elles permettent d'éviter le percement d'une paroi extérieure et la perte d'étanchéité à l'air qui peut en résulter.

Il est préférable de choisir une solution qui ne nécessite qu'une maintenance minimale car l'accès en paroi peut être difficile. Il existe des capteurs sans fil qui ne nécessitent pas de piles à remplacer, ils prennent leur énergie par des cellules photovoltaïques.



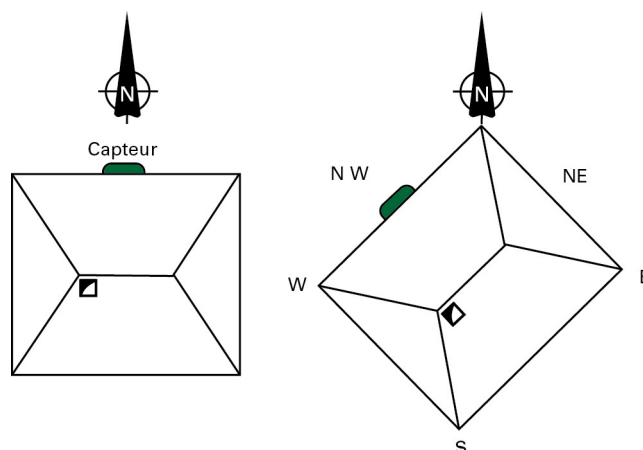
3.3. • Emplacement

Pour la régulation du chauffage, l'emplacement de la sonde sur une paroi extérieure du bâtiment doit être choisi attentivement. Le niveau du chauffage au long de la journée et de toute la saison de chauffage en dépend.

Des inconforts, des surconsommations d'énergie peuvent résulter d'un mauvais choix :

- éviter, en règle générale, les influences perturbatrices comme celles provoquées par une sortie d'air (fenêtre, rejet d'air), par un conduit de fumée et par le rayonnement solaire direct (Figure 8)
- éviter la façade sud. Outre l'effet immédiat d'échauffement de la sonde, les parois ensoleillées accumulent la chaleur et provoquent un décalage du chauffage vis-à-vis du besoin
- préférer la façade nord (Figure 7). Si le bâtiment ne présente pas de façade au nord, la façade nord-ouest est préférée puisqu'elle n'est réchauffée par l'ensoleillement qu'en fin de journée, le chauffage se réduit alors que le bâtiment connaît généralement une surélévation de température causée par l'occupation et l'ensoleillement. Par contre, en façade nord-est, le réchauffement se manifeste le matin et contribue à sous-chauffer le bâtiment

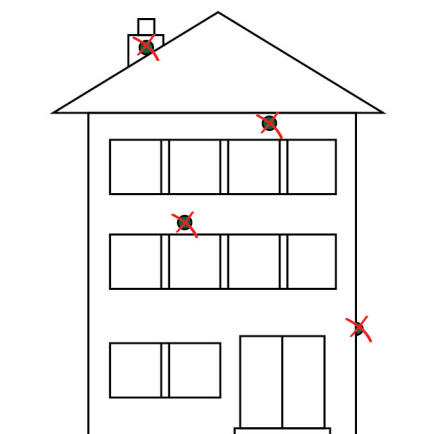
Ces capteurs doivent être placés hors de portée des usagers et des dégradations mais rester accessibles aux intervenants pour la maintenance. Il est conseillé de les positionner à environ 3 m du sol pour un accès qui reste possible avec une échelle.



▲ Figure 7 : Pour poser un capteur de température extérieure, préférer la façade Nord ou Nord-Ouest

NOTE

Le choix de l'emplacement a une influence sur le profil journalier de la puissance du chauffage. Ce choix peut être délicat, il est bon de prévoir la possibilité de déplacer un capteur selon ces constats.



▲ Figure 8 : Indications pour choisir l'emplacement d'une sonde de température extérieure sur une façade

Les sondes sous protection se placent en façade, comme en (Figure 6), ou bien en toiture-terrasse pour des raisons d'esthétique ou de difficulté à trouver un emplacement en paroi. Des précautions doivent être prises pour assurer la représentativité de la mesure.

Si la sonde utilise une technologie sans fil, la réceptivité des signaux peut être modifiée par des aménagements intérieurs.

Si le bâtiment est équipé d'une installation aéraulique avec introduction d'air neuf, il est préférable d'installer la sonde dans le conduit d'admission (cf. 12).

Pour mesurer une température extérieure avec des qualités métrologiques, un **abri météorologique** s'impose pour préserver les sondes du rayonnement solaire et des intempéries tout en assurant leur ventilation. Il doit être implanté à une distance suffisante des arbres et des bâtiments, de préférence protégé du vent dominant et des forts ensoleillements. Pour obtenir une mesure représentative, il est conseillé de les placer à une hauteur d'environ 1,5 m du sol pour tenir compte du gradient vertical de température. La construction des abris météorologiques fait l'objet de normes.



Les sondes de température extérieure en paroi ne doivent pas être peintes ni recouvertes d'un enduit.

3.4. • Pose

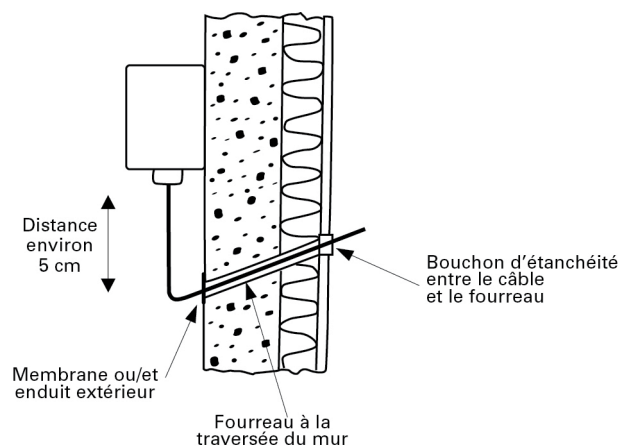
Les sondes murales sont vissées ou collées à la façade, selon les prescriptions du fabricant.

Pour un raccordement filaire, il faut observer quelques règles (Figure 9) :

- choisir le type et la longueur du câble de raccordement selon les indications du fournisseur. Ces indications dépendent du type de capteur : actif ou passif



- percer le mur de façon à ce que le câble soit incliné vers l'extérieur, évitant ainsi tout risque d'écoulement d'eau de pluie dans le bâtiment
- calfeutrer à l'aide d'un bouchon d'étanchéité l'interstice entre le fourreau et le câble pour éviter de dégrader l'étanchéité à l'air du bâtiment



▲ Figure 9 : Principales précautions pour raccorder une sonde de température extérieure

3.5. • Maintenance

Il est préconisé de nettoyer une fois par an les capteurs de température extérieure, particulièrement en environnement urbain ou en site pollué. Il est aussi conseillé de contrôler annuellement l'information délivrée par la sonde en la comparant à une mesure de référence.

Pour remplacer un capteur utilisé pour la régulation, il est important de vérifier son interchangeabilité vis-à-vis du régulateur. Après un changement, il peut être nécessaire d'ajuster les paramètres du régulateur.



ENSOLEILLEMENT, VENT ET PLUIE

4



4.1. • Applications

Réguler des équipements de chauffage ou de climatisation

Le pilotage du chauffage des bâtiments très vitrés est réalisé en fonction de la température extérieure et de la mesure de l'ensoleillement pour tenir compte des apports solaires. Le chauffage des bâtiments qui présentent des expositions marquées est divisé en zones, chaque façade est équipée d'un capteur d'ensoleillement pour réguler les zones indépendamment. Un seul capteur peut être placé en terrasse, l'ensoleillement de chaque façade est alors calculé selon l'heure solaire et l'orientation des zones. Ces dispositifs sont aussi utilisés pour piloter la puissance de refroidissement disponible dans les locaux des bâtiments climatisés.

Pour certains bâtiments dégagés, dans des régions très ventées, des capteurs de vitesse de vent permettent de compenser la température extérieure pour piloter le chauffage.

Mener les suivis énergétiques

Les consommations d'énergie pour le chauffage et le refroidissement sont corrélées aux conditions météorologiques du site. Pour les consommations de chauffage des bâtiments très vitrés et des bâtiments climatisés, l'ensoleillement et la température extérieure sont enregistrés conjointement. La vitesse du vent est aussi une grandeur d'influence sensible pour certains sites. L'efficacité des systèmes de production d'énergie solaire est suivie en mesurant le rayonnement solaire global dans le plan des capteurs solaires au moyen de cellules de mesure.

L'humidité de l'air extérieur est aussi utilisée pour corrélérer les consommations des systèmes de traitement d'air qui régulent l'humidité

ambiante en complément à la température. Le suivi de l'efficacité des systèmes de refroidissement gratuit par échange de masse comme les tours aéro-réfrigérantes nécessitent aussi la mesure de l'humidité relative à l'extérieur (cf. 12).

Automatiser des protections, des arrosages

Les mesures des grandeurs météorologiques sont nécessaires pour automatiser les protections solaires et autres occultations mécanisées. Ainsi, les stores se baissent lorsque l'ensoleillement est inutilement élevé pour l'éclairage intérieur ou que les apports solaires doivent être réduits durant les périodes de climatisation. Les stores peuvent remonter automatiquement à l'arrivée d'un vent trop violent ou de la pluie. L'éclairage intérieur et extérieur peut être déclenché automatiquement (cf. 7).

L'arrosage automatique des espaces verts peut être commandé en fonction de la pluie et de l'ensoleillement enregistrés, il est plus économe en eau et plus efficace qu'un programme fixe. Un arrosage automatique permet aussi de maintenir une quantité d'eau minimale sous la couche de graviers qui recouvre la terrasse de certains bâtiments, cela permet d'éviter les contraintes et risques de fissures en terrasses, d'améliorer le confort thermique des locaux sous terrasse en période estivale et d'économiser, dans une certaine mesure, le besoin de refroidissement de ces locaux.

4.2. • Choix

Ensoleillement

Les capteurs d'ensoleillement utilisent une cellule photoélectrique de type photopile (photovoltaïque) ou photorésistance (photodiode). Ils délivrent un signal analogique standard, 0-10 V par exemple.

Ils sont utilisés pour réguler le chauffage ou la climatisation par zones en tenant compte de l'ensoleillement reçu par la façade.

Ceux utilisés pour suivre l'efficacité des systèmes de production d'énergie solaire sont sensibles à un large spectre, ils mesurent le rayonnement direct et diffus avec une sensibilité qui doit être identique à celle des capteurs d'énergie solaire.

Les capteurs de luminosité décrits au chapitre 7 (cf. 7) sont sensibles au spectre visible, ils sont destinés à la commande d'éclairages extérieurs ou intérieur et/ou des stores.



▲ Figure 10 : Capteur d'ensoleillement de type photovoltaïque (silicium)

Vent

Les capteurs les plus simples mesurent la vitesse du vent en comparant la température atteinte par un élément sensible chauffé exposé au vent et un autre à l'abri des mouvements d'air dans un boîtier non ventilé. Le résultat est corrigé en fonction de la température extérieure. L'usage de ces dispositifs est restreint à la régulation thermique de la façade sur laquelle ils sont posés.

Des fabricants de stores motorisés proposent des détecteurs de vent destinés à les protéger. Les plus simples sont à balancier : la vitesse du vent applique une force sur une palette qui actionne un contact qui signale le dépassement d'un seuil de vitesse. Ce seuil est pré-réglé en usine ou réglable par l'utilisateur.

La plupart des mesureurs utilisent des anémomètres à coupelles (Figure 11). Il existe des appareils à sortie analogique qui mesurent la vitesse du vent dans une plage, généralement de 0 à 60 m/s. Pour les sites soumis aux risques de glace et si la mesure doit être exploitable durant les périodes les plus froides, des anémomètres chauffés sont proposés.

Des girouettes permettent aussi d'émettre un signal analogique proportionnel à la direction du vent, de 0 à 360 ° (Figure 11).



▲ Figure 11 : Centrale de mesure du vent avec anémomètre à coupelles et girouette



Pluie

La détection de présence de pluie est basée sur la conduction électrique par des gouttes d'eau sur des électrodes en forme de peignes.

Le même principe est utilisé pour détecter la présence d'eau au sol d'une terrasse arrosée. Une temporisation est nécessaire pour éviter les commandes par tout ou rien intempestives.

Pour mesurer la hauteur des précipitations afin de commander des arrosages d'espaces verts ou agricoles, on utilise un pluviomètre automatique. Lorsque l'auget est plein, il bascule, se vide et provoque la fermeture d'un contact électrique. Le nombre de basculements par heure permet de connaître la hauteur de précipitation.

Humidité

L'humidité relative de l'air extérieur est mesurée pour les suivis énergétiques des systèmes de climatisation. Les éléments sensibles sont les mêmes que ceux utilisés pour mesurer l'humidité en conduit (cf. 12).

NOTE

Il existe des centrales qui regroupent plusieurs mesures météorologiques, pour la simplicité de pose et d'entretien.

4.3. • Emplacement

Si une terrasse est accessible, c'est l'endroit de prédilection pour placer une centrale de mesure météorologique, sinon il faut considérer la possibilité de la placer au-dessus du faîte de la toiture ou en paroi. Le choix de la paroi dépend alors des mesures météorologiques à réaliser.

Les capteurs doivent rester accessibles aux personnes chargées de la maintenance, qu'ils soient placés en façade ou en terrasse. Ils doivent aussi rester peu visibles ou inaccessibles pour prévenir des actes irrespectueux.

Ensoleillement

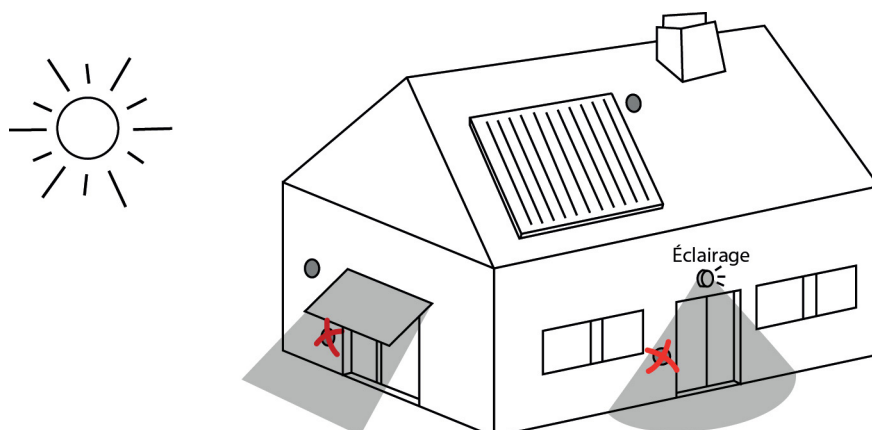
Pour la régulation du chauffage ou de la climatisation, les capteurs sont prévus pour être placés en paroi verticale, soit sur la façade vitrée et ensoleillée, soit sur la façade concernée dans le cas d'une régulation par zones, soit sur les façades sud, sud-est ou sud-ouest.

Il faut évidemment choisir un endroit constamment ensoleillé, il ne doit pas être masqué par un bâtiment voisin ou des arbres.

Les capteurs à poser contre une vitre ne doivent pas être installés sur un ouvrant.



Des recommandations concernant l'emplacement des détecteurs d'éclairage sont données au chapitre 7 (cf. 7).



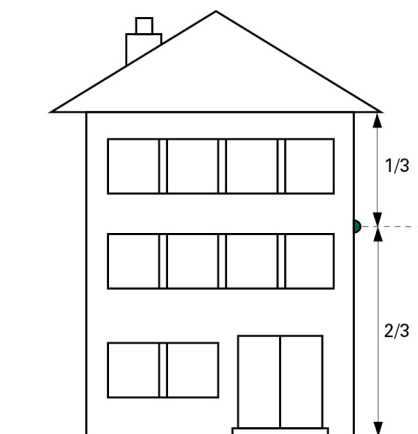
▲ Figure 12 : Recommandations d'implantation d'une sonde d'ensoleillement. Pour le suivi de la production solaire, placer la sonde en toiture dans le plan des capteurs

Vent

La représentativité de la mesure d'une vitesse du vent dépend de la position du capteur. Les météorologues mesurent la vitesse du vent d'un site en haut d'une perche de 10 m. Pour les usages du bâtiment, la sonde est placée en terrasse à au moins 1,5 m ou sur la façade orientée vers les vents dominants.

En paroi, le capteur se place sur la façade principale soumise au vent dominant : façade nord, nord-est ou nord-ouest dans nos régions ou bien sur la façade à traiter dans le cas d'une régulation par zones.

La hauteur d'implantation préférable est aux deux tiers de la hauteur de l'immeuble, les vents les plus forts ne sont en effet pas localisés au sommet. Le capteur doit être placé en dehors des endroits où il risque d'être abrité du vent (balcon, avant-toit...).



▲ Figure 13 : Recommandations d'implantation d'une sonde de vent

Pluie

Un détecteur de pluie doit, comme un capteur de vent en façade, être soumis aux vents dominants.

4.4. • Maintenance

Les capteurs de vent et d'ensoleillement ne réclament normalement qu'un nettoyage annuel, suivant les indications du fabricant et la qualité d'air du site (effet de pollution en site urbain).

Les détecteurs de pluie doivent être nettoyés et vérifiés au moins une fois par an, plus fréquemment dans les sites urbains.



TEMPÉRATURE ET HUMIDITÉ AMBIANTE

5



5.1. • Applications

Les mesures des conditions de température et d'humidité ambiante des locaux sont nécessaires pour automatiser les équipements du génie climatique, citons :

- régulation centrale des installations de chauffage et de climatisation
- régulation terminale d'émetteurs de chauffage et de climatisation
- ajustement automatique de la loi de correspondance température d'eau – température extérieure de la régulation du chauffage en fonction de l'extérieur, dite « loi d'eau » ou « courbe de chauffe »
- optimisation des intermittences journalières des installations
- protection contre le gel des locaux

Ces mesures sont aussi nécessaires pour la gestion technique :

- surveiller les ambiances intérieures. Cette surveillance est souvent utile, elle est nécessaire pour certains usages : crèches, locaux hospitaliers tels que salles blanches, nurseries, locaux industriels tels que locaux de production, de stockage, de séchage...
- superviser les fonctionnements des installations de génie climatique, détecter d'éventuelles dérives par historiques, tableaux de bord. La mise à disposition de ces mesures auprès des occupants permet de les sensibiliser aux bons usages de l'énergie.
- suivre les consommations d'énergie des installations de génie climatique en tenant compte de l'occupation réelle des locaux pour adapter les intermittences



5.2. • Choix et raccordement d'un capteur de température

Les capteurs de température d'air ambiant utilisent l'une ou l'autre de ces technologies :

- résistances métalliques, généralement en platine ou en nickel (Pt100, Ni1000 par exemple), dont la résistance ohmique augmente avec la température
- thermistances, en matériaux semi-conducteurs dont la résistance varie également avec la température, selon un coefficient négatif (CTN) ou positif (CTP). Leur résistance est plus élevée que celle des résistances métalliques

Les résistances métalliques font l'objet de standards, ce qui n'est pas le cas des thermistances qui ne sont pas interchangeables.

L'élément sensible se trouve selon les cas :

- dans un boîtier pour être posé en paroi dans le local (Figure 14). Ce type de sonde délivre une information proche de la température résultante puisqu'elle est aussi soumise au rayonnement des surfaces avoisinantes. La température relevée est donc proche de celle ressentie par le corps humain. Il convient néanmoins de prêter attention aux parois avoisinantes et à la circulation d'air autour de la sonde qui peuvent perturber la mesure
- placé dans une canne protectrice. Ces modèles permettent de diminuer l'impact du rayonnement sur le boîtier et de renforcer les échanges convectifs autour de l'élément sensible. Le positionnement hors du boîtier permet de faciliter le contrôle



▲ Figure 14 : Sondes de température ambiante pour montage mural, sous capot

Lorsque cela est possible, il est recommandé d'opter pour une mesure de la température ambiante par une sonde placée dans le conduit de reprise d'air du local, des informations sur ces sondes se trouvent au chapitre 12 (cf. 12). Cette solution permet de mesurer la température ambiante moyenne d'une pièce et d'éviter des influences locales de la mesure en ambiance. Elle doit toutefois rester accessible. Par contre, l'utilisation d'une sonde en conduit est à proscrire dans le cas d'une



ventilation asservie à la demande car la sonde n'est pas balayée continuellement par l'air, la mesure n'est plus représentative. Des sondes spécifiques sont parfois placées dans les conduits de reprise de terminaux à air, tels que les ventilo-convecteurs, pour leur régulation.

Les principaux critères pour choisir un capteur de température ambiante :

- plage utile : de 10 à 40 °C
- erreur tolérable : $\pm 0,3$ K répond généralement au besoin de la régulation d'ambiance
- fidélité : la stabilité dans le temps de la précision est une qualité importante. Les capteurs à résistance métallique présentent la meilleure fidélité
- temps de réponse : il convient de choisir un temps de réponse relativement élevé pour ne pas prendre en compte des variations rapides, sans signification. Les capteurs placés dans l'ambiance peuvent être soumis à des variations de température par des déplacements de l'air. L'inertie de certains capteurs qui pilotent le chauffage est augmentée par une masse qui enrobe le détecteur dans le boîtier
- indice de protection du boîtier : IP 30 suffit pour une installation intérieure. Il désigne une protection contre les petits corps solides

Pour répondre à des applications particulières, il existe des capteurs de température spécialement adaptés :

- les capteurs de température de surface permettent de piloter la ventilation en fonction de la température de rosée calculée avec le taux d'humidité et la température ambiante. De tels capteurs peuvent être posés sur les vitrages des piscines ou autres locaux à fort dégagement d'humidité pour éviter la condensation
- les capteurs de température de rayonnement principalement utilisés pour la régulation d'émetteurs de chauffage par rayonnement (panneaux, plafonds...). Ils sont conçus pour présenter une forte sensibilité au rayonnement thermique, l'élément sensible étant placé derrière une surface noire. Ils sont communément appelés « sonde résultante » ou « sonde à sphère noire »

L'information délivrée par ces capteurs est transmise par un signal analogique de type 0-10 V, 4-20 mA ou par un réseau de communication. Les capteurs à résistance métallique ou les thermistances, dites passives, peuvent être directement raccordées sur les automates adaptés.

Le raccordement des capteurs passifs nécessite une attention particulière (montage 2, 3 ou 4 fils) (Figure 15) car la résistance en ligne des câbles de raccordement peut perturber la mesure. On préférera un raccordement en 3 fils pour les capteurs Pt100. En revanche, un raccordement en 2 fils est généralement suffisant pour des capteurs Pt1000. Le montage en 4 fils est rare en génie climatique.



MONTAGE 2 FILS	
	<p>Ce montage est le plus simple. Il présente l'inconvénient de placer les résistances en ligne des câbles de raccordement R_{L1} et R_{L2} en série avec l'élément sensible.</p> <p>Pour des capteurs Pt100, la sensibilité est de 0,4 Ω/K environ, une résistance en série aussi faible qu'une fraction d'ohm provoque donc un décalage relativement important.</p> <p>Ce montage n'est utilisé que pour raccorder des capteurs de résistance plus élevée : Pt1000 ou Ni1000.</p>
MONTAGE 3 FILS	
	<p>Ce montage est le plus courant. La résistance R_{L1} est compensée par la résistance R_{L2} (ou R_{L3}). Les 3 fils doivent être de même diamètre.</p> <p>Ce montage permet une compensation pratiquement totale, il est utilisé pour les Pt100.</p>
MONTAGE 4 FILS	
	<p>Ce montage, plus rare, permet de compenser totalement les résistances des fils de liaison.</p> <p>Le courant stabilisé pour mesurer la résistance circule entre les bornes 1 et 4, la tension est mesurée entre les bornes 2 et 3.</p> <p>Les 4 fils doivent être de même diamètre pour éviter des décalages qui seraient provoqués par interversions.</p>

▲ Figure 15 : Les raccordements des capteurs de température à résistance métallique, platine ou nickel

5.3. • Choix et raccordement d'un capteur d'humidité

L'humidité de l'air est caractérisée par plusieurs grandeurs : l'humidité spécifique, l'humidité relative et la température humide. Pour le contrôle et la régulation des conditions d'ambiance, seule l'humidité relative est mesurée. Son pourcentage correspond au rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau et la pression de vapeur saturante à la même température.

La mesure d'humidité relative est basée sur la variation des propriétés électriques d'un matériau en fonction de l'humidité. On utilise le plus souvent des capteurs capacitifs sur un polymère.

L'élément sensible se trouve, selon les cas, disposé sous un capot en matière plastique ou dans une canne protectrice pour un montage mural. Il est également possible d'opter pour une mesure dans le conduit de reprise d'air du local (cf. 12). Les mesures d'humidité et de température sont souvent associées dans un même boîtier.

Pour des applications particulières, il existe des détecteurs de condensation. De la même manière que les capteurs de température de contact utilisées pour la régulation de la ventilation de locaux à forte humidité, ces détecteurs préviennent des risques de condensation à partir de la mesure de l'humidité relative. Ils s'utilisent généralement pour la surveillance de risques de condensation sur des canalisations



d'eau glacée, les surfaces des plafonds refroidis ou sur des points critiques des installations de climatisation.

Les principaux critères pour choisir un capteur d'humidité relative en ambiance :

- plage utile : de 20 à 90%
- erreur tolérable : $\pm 5\%$ répond généralement au besoin de la régulation d'ambiance.
L'erreur des capteurs peut néanmoins être inférieure à 2% sur une grande partie de la plage de mesure et augmentée aux limites
- fidélité : ces capteurs peuvent présenter une dérive de quelques % après plusieurs années. Une erreur plus importante peut venir d'une condensation sur la surface de l'élément sensible
- temps de réponse : le temps de réponse est généralement court, de l'ordre de la dizaine de seconde à la montée. Il est beaucoup plus long pour une diminution du taux d'humidité en partant d'un taux élevé. Ce temps correspond à l'évacuation de l'excédent d'humidité sur la surface sensible
- indice de protection du boîtier : IP 30 suffit pour une installation intérieure. Il désigne une protection contre les petits corps solides



Les capteurs à éléments sensibles capacitifs ne doivent jamais être mouillés, ils peuvent être soumis à un décalage permanent de la mesure.

Les capteurs capacitifs à polymère sont des capteurs actifs, ils doivent recevoir une alimentation pour le circuit électronique, ils comportent un transmetteur qui délivre un signal. Il existe des capteurs sans fil et sans pile qui tirent leur énergie d'un dispositif photovoltaïque.

5.4. • Emplacement

L'implantation des capteurs de température et d'humidité dans l'ambiance nécessite de respecter certaines précautions pour s'assurer de la représentativité des mesures.

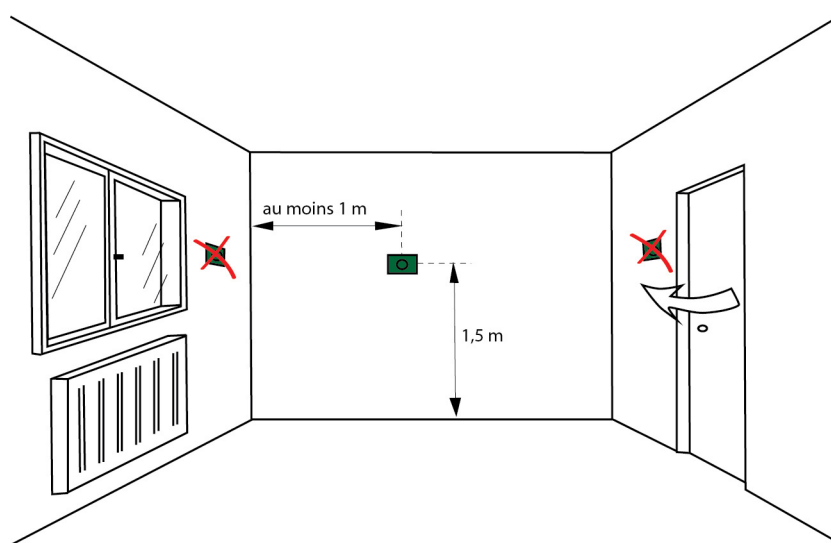
Ces capteurs ne doivent pas être placés dans un angle, au-dessus ou à proximité de sources de chaleur, sur une paroi donnant sur l'extérieur ou sur des rayonnages.

Il convient de les localiser à environ 1,50 m du sol, à hauteur d'homme, pour que la mesure soit représentative du confort de l'individu.

Les capteurs de température et d'humidité ne doivent pas être directement exposés au rayonnement solaire, ni être placés contre un

conduit de cheminée. Ils ne doivent pas non plus se trouver à proximité d'une entrée d'air ou d'un point humide.

Ils ne doivent pas être peints ou placés derrière des tentures.



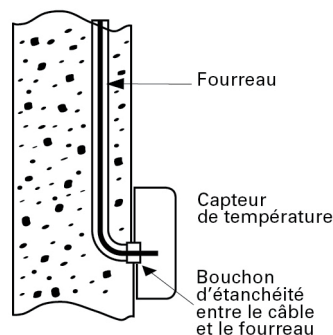
▲ Figure 16 : Principales précautions d'implantation des capteurs de température et d'humidité ambiante en paroi : leur mesure ne doit pas être influencée

5.5. • Pose

Les capteurs muraux sont vissés ou collés à la paroi intérieure.

Leur pose doit être conforme aux prescriptions du fabricant.

Pour un passage de câble par l'arrière, il est important de calfeutrer l'interstice entre le fourreau et le câble, à l'aide d'un bouchon d'étanchéité, de façon à éviter toute perturbation de l'élément sensible par circulation d'air (Figure 17).



▲ Figure 17 : Principales précautions pour raccorder un capteur de température et/ou d'humidité ambiante

Le type et la longueur du câble de raccordement doit satisfaire les caractéristiques données par les fabricants, elles dépendent du type de capteur : actif ou passif.

Il existe des solutions sans fil qui permettent de s'affranchir du perçage des parois.



5.6. • Maintenance

Un entretien périodique annuel des capteurs de température et d'humidité doit être prévu. Il comprend le dépoussiérage de l'élément sensible à l'aide d'un pinceau doux. Prévoir aussi le nettoyage, voire le remplacement du filtre éventuel des capteurs d'humidité.

Pour les capteurs de température à résistance métallique, une comparaison de la mesure à celle d'un instrument de référence est conseillée, tous les ans, si la précision doit être attestée.

Une vérification annuelle et un étalonnage éventuel des capteurs d'humidité sont recommandés, ces capteurs peuvent être soumis à des dérives. Si la surface sensible du capteur a été mouillée, il faut effectuer une vérification.

Pour remplacer un capteur raccordé à un régulateur, vérifier l'interchangeabilité du capteur vis-à-vis du régulateur. Après un changement du capteur, il peut être nécessaire d'ajuster les paramètres du régulateur.

Dans le cas de solutions sans fils non autoalimentées, il faut fixer au préalable la périodicité de remplacement des piles.

QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

6



6.1. • Applications

La régulation de la ventilation en fonction de la mesure de la qualité de l'air intérieur (QAI) apporte deux avantages déterminants :

- maîtriser la consommation d'énergie en modulant le renouvellement d'air en fonction de la demande. Le renouvellement d'air est un poste important des déperditions thermiques et la consommation électrique des ventilateurs est un critère de choix du système de ventilation
- maîtriser la pollution de l'air intérieur pour des raisons sanitaires

La surveillance de la pollution des ambiances peut être nécessaire pour certains locaux à usages spécifiques. Elle peut permettre d'afficher simplement la nécessité d'ouvrir des fenêtres.

La mise en place d'une solution de mesure de la qualité de l'air intérieur dépend de la protection sanitaire à assurer, selon l'usage des locaux : crèche, école, locaux recevant du public...

Elle dépend aussi de la nature de la pollution : dégagements d'humidité et de CO₂ par le métabolisme humain, émissions de Composés Organiques Volatils (COV) liées à une activité spécifique (cuisine, fumoir, industrie, agriculture...) ou par le mobilier, les peintures et les revêtements intérieurs.



6.2. • Choix d'un capteur de qualité de l'air

Pour mesurer la qualité de l'air dans les locaux qui ne sont pas soumis à des dégagements autres que ceux qui viennent d'une occupation humaine, deux types de capteurs peuvent être utilisés :

- les capteurs de mesure de COV (Composés Organiques Volatils). Ces capteurs permettent de caractériser la concentration en polluants organiques dans l'air intérieur. Ils sont sensibles à un large spectre de COV et particulièrement à la fumée de cigarette. Ils sont donc surtout installés dans des locaux à pollution spécifique (salle réservée aux fumeurs, cuisine, sanitaire, gymnase, salle communale...)
- les capteurs de mesure de CO₂. Le CO₂ n'est pas un polluant à proprement parler, il permet de caractériser un taux d'occupation et le renouvellement d'air qui doit être adapté. Ces capteurs sont donc installés dans des locaux à occupation intermittente (salle de réunion, auditorium, salle de classe...)

La mesure de l'humidité intérieure est aussi utilisable pour détecter l'occupation de certains locaux, elle est traitée au chapitre 5 (cf. 5).

Les capteurs de mesure de CO₂

Le niveau de concentration typique de CO₂ ambiant est de 350 à 450 ppm. La limite de concentration visée est de l'ordre de 1000 ppm dans les lieux occupés.

Les capteurs de mesure de la concentration en CO₂ mettent en jeu le principe de la spectrométrie d'absorption infrarouge. Il consiste à mesurer l'intensité du rayonnement infrarouge après son absorption par le CO₂ contenu dans un volume d'air.

Les sondes sont disposées, selon les cas, sous un capot en matière plastique pour une pose en ambiance ou dans une canne protectrice pour une mesure en conduit d'air.

Les principaux critères pour choisir un capteur de concentration en CO₂ sont :

- plage utile : de 0 à 2000 ppm ou 5000 ppm
- erreur tolérable : au moins 7% de la mesure ou ± 100 ppm
- temps de réponse : < 5 minutes ; suffisant pour répondre au besoin de régulation de la ventilation par rapport à l'occupation

Ces capteurs délivrent un signal analogique (0-10 V ou 4-20 mA) ou intègrent un régulateur qui agit sur le débit d'air neuf pour régler la vitesse d'un ventilateur ou la position d'un registre. Ils peuvent aussi intégrer des capteurs de température et/ou d'humidité.

Les capteurs de mesure de Composés Organiques Volatils (COV)

Ces capteurs permettent de détecter un grand nombre de polluants typiquement présents dans les ambiances intérieures. Ils détectent les émanations et les odeurs qui proviennent notamment des hommes, des meubles, des colles, des moquettes, des produits de nettoyage, des cosmétiques. Ils permettent le pilotage des systèmes de ventilation pour évacuer ces pollutions spécifiques et assurer un apport d'air sain suffisant.

Ces capteurs intègrent un semi-conducteur d'oxyde métallique alimenté en permanence (puissance de l'ordre du watt) dont la résistance électrique varie en fonction de la quantité de molécules de composés organiques en contact.

Contrairement aux capteurs de CO₂, ces capteurs détectent un large spectre. Ils ne mesurent donc pas la concentration d'un gaz spécifique mais indiquent une valeur proportionnelle à la qualité de l'air ambiant.

Ces capteurs réagissent avec les COV en contact et subissent des modifications et de l'usure des caractéristiques électriques. Un calibrage est ainsi nécessaire en fonction des conditions locales et de la perception des occupants pour régler la sensibilité et le « point zéro » du capteur (cf. 6.5).

L'élément sensible est disposé, comme les capteurs de température ambiante ou de CO₂, sous un capot en matière plastique ou dans une canne protectrice.

Ces capteurs délivrent un signal analogique (0-10 V ou 4-20 mA) ou intègrent un régulateur qui agit sur le débit d'air neuf par réglage de la vitesse d'un ventilateur ou la position d'un registre d'air. Il existe aussi des capteurs prévus pour être raccordés à un bus de communication filaire ou par radio fréquence.

NOTE

Comme pour beaucoup de capteurs aujourd'hui, il faut noter le développement des solutions de transmission par radio fréquence des capteurs de CO₂ et de COV.

6.3. • Emplacement

Les mesures en conduit de reprise d'air des locaux sont plus représentatives car elles permettent d'éviter les influences locales. Il convient toutefois de veiller à leur accessibilité pour la maintenance. Le chapitre 12 (cf. 12) traite du positionnement des sondes de température et d'humidité d'air en conduit.

Pour la représentativité des mesures, le choix de l'emplacement des capteurs en ambiance réclame des précautions.

Il convient d'éloigner les capteurs des ouvertures et des entrées d'air afin d'éviter les courants d'air. Il faut également éviter l'exposition



directe aux sources de chaleur : rayonnement solaire, proximité d'un émetteur de chauffage, pose sur un conduit de cheminée... Une installation à hauteur d'homme, à environ 1,5 m du sol, est conseillée.

6.4. • Pose

Les capteurs muraux sont vissés ou collés sur une paroi intérieure.

Leur pose doit être conforme aux prescriptions du fabricant.

Contrairement aux capteurs de température passifs, les capteurs de qualité de l'air nécessitent une alimentation spécifique. Il convient de se référer à la notice fabricant pour déterminer la tension d'alimentation.

Pour un passage dans la paroi, il est important de calfeutrer l'interstice entre le fourreau et le câble, à l'aide d'un bouchon d'étanchéité, de façon à éviter toute perturbation de l'élément sensible par circulation d'air. Se référer à la (Figure 17).

Le type et la longueur du câble de raccordement doivent satisfaire les caractéristiques données par les fabricants.

6.5. • Maintenance

Un entretien périodique annuel des capteurs de qualité de l'air est préconisé.

Il comprend le dépoussiérage de l'élément sensible à l'aide d'un pinceau doux lorsque celui-ci est soumis à la poussière. C'est le cas lorsqu'il est localisé sous un boîtier muni de fentes ou bien à l'extrémité d'une canne protectrice non munie de filtre contre la poussière. En présence d'un filtre, prévoir son dépoussiérage, voire son remplacement.

Les capteurs de mesure de CO₂ comme de COV requièrent une vérification annuelle. Ces capteurs présentent des dérives non négligeables (de l'ordre de 15% par an) qu'il convient de corriger pour éviter les risques d'inconfort dus à la diminution de la ventilation ou la réduction des économies d'énergie liées à l'asservissement de la ventilation. Il convient de s'adresser au fabricant ou à une entreprise spécialisée.

Il faut cependant noter que ces instruments intègrent de plus en plus des algorithmes de compensation des dérives pour limiter ces phénomènes.

Les capteurs de COV se dégradent progressivement en contact des polluants, leur durée de vie est de l'ordre de 5 ans en condition normale. Les capteurs de CO₂ de technologie infrarouge présentent une durabilité de l'ordre de 10 ans.

ÉCLAIRAGE

7



7.1. • Applications

La mesure de l'éclairement intérieur, de la lumière du jour et de la présence permettent de piloter les systèmes d'éclairage intérieur en modulant le niveau d'éclairement suffisant pour le confort durant les seules périodes d'occupation.

Ces automatismes sont particulièrement efficaces dans les bâtiments du secteur tertiaire, ils permettent d'économiser jusqu'à 60 % de l'énergie consommée pour l'éclairage.

Les bâtiments résidentiels peuvent aussi bénéficier d'un confort supplémentaire tout en réduisant la consommation.

La modulation des systèmes d'éclairage est naturellement associée au réglage automatique des stores ou autres protections solaires pour stabiliser l'éclairement et profiter au mieux de l'éclairage naturel.

Les performances de l'éclairage automatisé dépendent des capteurs et détecteurs qui sont mis en place dans les bâtiments.

Des capteurs d'ensoleillement sont utilisés pour piloter certains systèmes, comme les protections solaires des serres agricoles.

7.2. • Choix des capteurs et détecteurs

Les détecteurs d'éclairement (cf. 4) utilisent une cellule photoélectrique de type photopile (photovoltaïque) ou photorésistance (photodiode).



L'éclairage extérieur

L'éclairage des parkings découverts, circulations et accès aux bâtiments est commandé en tout ou rien par un interrupteur crépusculaire. Le seuil d'enclenchement est réglable, il est couramment d'environ 10 lux. Sur certains modèles, le réglage se fait par l'ouverture du diaphragme disposé devant la cellule ou en plaçant des diffuseurs colorés devant le capteur. Une temporisation de l'ordre de 30 secondes est intégrée au dispositif pour que des éclaircissements brefs n'interrompent pas l'éclairage.

Ces détecteurs sont aussi associés à une horloge journalière ou hebdomadaire pour empêcher les déclenchements en dehors des plages horaires qui peuvent nécessiter un éclairage artificiel. L'horloge peut utilement être annuelle pour tenir compte du jour de l'année et donc des durées de la lumière du jour.

L'éclairage des accès aux bâtiments peut aussi être piloté par des capteurs de présence à infrarouge ou à détection de mouvement. Les seuils d'enclenchement et les temporisations peuvent être réglables selon les modèles.

L'éclairage intérieur

Pour piloter l'éclairage intérieur, la sensibilité spectrale du capteur doit être proche de celle de l'œil.

Trois types de capteurs ou détecteurs sont utilisables pour piloter l'éclairage intérieur en fonction de :

- la luminosité intérieure
- la luminosité extérieure ou lumière du jour
- la présence dans les locaux ou les zones éclairées

Ils sont utilisés seuls ou combinés pour commuter ou régler progressivement l'éclairage ainsi que, éventuellement, les stores.

La sortie des capteurs de luminosité intérieure est tout ou rien ou progressive : 0-10 V, pour régler le niveau d'un variateur d'éclairage.

Dans les locaux d'activités, le pilotage peut prendre en compte : soit la lumière du jour, soit la présence, soit la lumière du jour et la présence. Cette dernière solution est recommandée pour les bureaux.

Pour les locaux de passages, les circulations, les entrepôts, le niveau normal est commandé par un détecteur tout ou rien de la luminosité intérieure associé à un détecteur de présence.

Les systèmes d'éclairage combinent les mesures de ces détecteurs avec des commandes manuelles, des horloges journalières ou hebdomadaires, des temporisations.

Des indications pour choisir les fonctionnalités de ces systèmes, selon la nature des bâtiments et les types d'occupation des différents locaux se trouvent dans des publications de l'Association Française de l'Éclairage.



Le protocole DALI (Digital Addressable Lighting Interface) permet de relier et d'adresser les capteurs et les commandes aux points d'éclairage.



▲ Figure 18 : Détecteur de mouvement pour montage au plafond

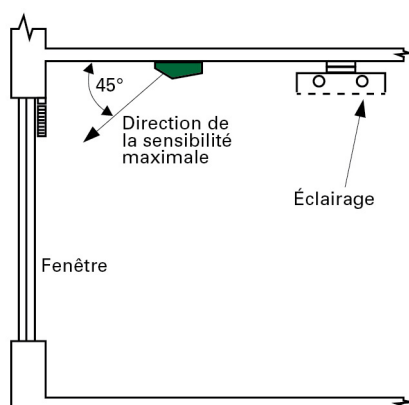


▲ Figure 19 : Cellule de mesure de l'éclairage intérieur

7.3. • Emplacement et pose

Pour mesurer la luminosité extérieure, le capteur ou la cellule solaire doit être placé dans un endroit dégagé, sans masque des arbres ou des bâtiments à proximité. Il ne doit pas être éclairé par des sources lumineuses parasites : lampadaires, phares de véhicules...

La lumière du jour peut aussi être mesurée depuis l'intérieur du local, par des capteurs directs, comme indiqué (Figure 20).

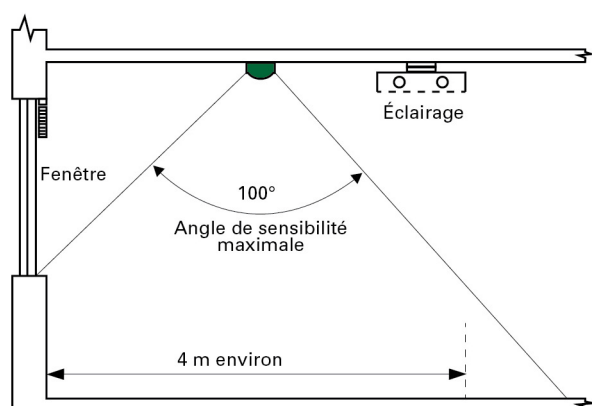


▲ Figure 20 : Emplacement d'un détecteur de lumière du jour

Pour mesurer la luminosité intérieure, le capteur ne doit pas être influencé directement par l'éclairage qu'il commande ni par la lumière

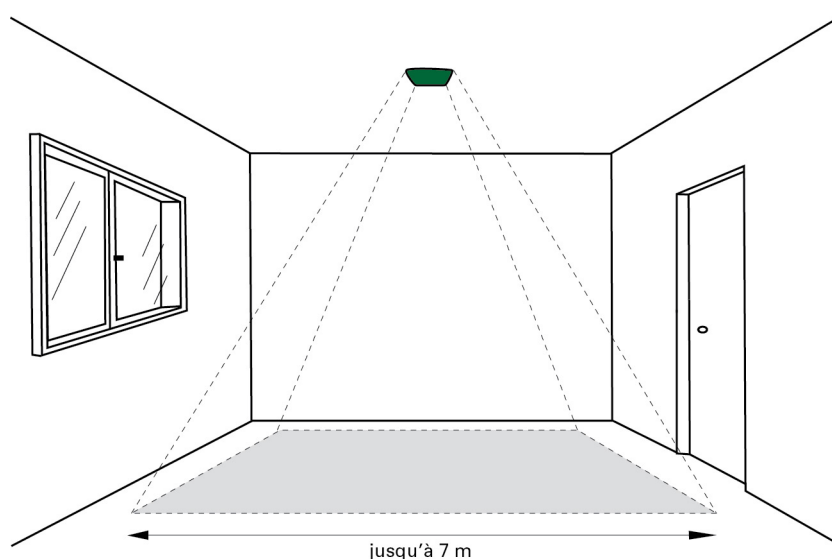


du jour. Il est placé en partie haute (Figure 21). Son emplacement au plafond est choisi en fonction de la surface au sol à couvrir, elle dépend de la hauteur et de l'angle d'ouverture du capteur qui diffère d'un produit à un autre.



▲ Figure 21 : Emplacement d'un détecteur de luminosité intérieure, il ne doit pas être soumis à l'éclairage naturel extérieur ni aux luminaires intérieurs

Pour détecter la présence, le capteur au plafond doit lui aussi être posé en tenant compte de son angle d'ouverture et de la hauteur (Figure 22).



▲ Figure 22 : Emplacement d'un détecteur de présence ou de mouvement

Après la mise en place des capteurs, il reste à vérifier que les dispositifs sont bien réglés. Les fabricants donnent des indications pour pré-régler les seuils de commutation ou les bandes proportionnelles des réglages progressifs. Pour les systèmes de pilotage qui intègrent plusieurs types de capteurs et détecteurs, des horloges et des temporisations, il ne faut pas négliger la phase de réglage qui peut nécessiter plusieurs interventions. Après le réglage initial, un ajustement dans les conditions réelles de fonctionnement peut être nécessaire, spécialement pour les capteurs de lumière du jour.

7.4. • Maintenance

Un dépoussiérage annuel des détecteurs extérieurs est recommandé. Il est nécessaire dans les sites pollués, les grands centres urbains. Il est également utile de vérifier les niveaux des seuils de commutation des détecteurs.

Enfin, comme les commandes de l'éclairage sont associées à des horloges ou autres automatismes, des décalages des heures de commutation peuvent provoquer des difficultés auprès des usagers. Si la remise en état n'est pas assez rapide, des intervenants pourraient supprimer la programmation sans attendre l'intervention d'un technicien, l'éclairage risque alors de fonctionner longtemps sans interruption.

La vigilance et la rapidité d'intervention d'un service entretien permet d'éviter que des défaillances fortuites ne conduisent à des gaspillages d'énergie.



ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

8



8.1. • Applications

Les mesures de l'énergie électrique sur les installations à basse tension servent plusieurs usages :

- facturation au point de livraison. Ces compteurs sont sous la propriété et la responsabilité du fournisseur d'énergie
- répartition des coûts de fourniture de l'énergie aux utilisateurs par des sous-comptages ou comptages divisionnaires
- suivis analytiques des consommations : courbe de charge, répartition des consommations par poste, par zone...
- surveillance des consommations pour déceler des usages intempestifs ou des dérives
- information des usagers sur leurs consommations
- optimisation de la facturation, gestion en fonction des tranches tarifaires

Les « compteurs intelligents » sont dotés de sorties de commande pour adapter au mieux les usages aux conditions du tarif, réduire les coûts. Ces informations permettent d'automatiser des effacements de charges, des délestages, d'optimiser des usages intermittents selon les plages tarifaires.

Outre les compteurs d'énergie active, il existe plusieurs types d'appareils : indicateurs de consommation, centrales de mesure, analyseurs de réseaux qui permettent de mesurer plusieurs grandeurs : puissance active et réactive, facteur de puissance, courant, tension, taux d'harmoniques, équilibre des phases.

8.2. • Choix d'un compteur d'énergie électrique

Il faut distinguer le compteur de l'abonné et les compteurs divisionnaires.

Le compteur de l'abonné installé au point de livraison pour la facturation par le fournisseur d'énergie. Il est choisi par le fournisseur et dépend du type d'abonnement. Il existe des compteurs simple, double, triple et même quadruple tarif. Les critères de choix de ces compteurs et leurs prescriptions de montage ne sont pas abordés dans cet ouvrage.

Les compteurs électroniques disposent d'une sortie numérique « Télé-Information Client » qui indique la puissance moyenne pour un pas de temps de 10 minutes. Les exigences en termes d'informations disponibles et de pas de temps d'enregistrement sont définies en fonction de la puissance souscrite dans l'arrêté du 4 janvier 2012 en application du décret du 31 août 2010.

Les compteurs divisionnaires placés afin de répartir les consommations, de suivre, de surveiller et de superviser une distribution en aval du compteur d'abonné. Le suivi séparé des consommations des installations de chauffage, de ventilation et de climatisation, de production d'eau chaude sanitaire, d'éclairage est maintenant introduit par la réglementation thermique pour les bâtiments neufs et existants dans le cadre d'une réhabilitation lourde (cf. 21).



Si tous les usages de l'électricité en aval d'un compteur général sont mesurés par des compteurs divisionnaires, il est probable que la somme de leurs comptages ne sera pas égale au comptage général, à cause des incertitudes des mesures. Si le rapprochement montre une différence qui dépasse l'incertitude probable, une recherche de la cause peut permettre d'identifier un décalage. Il est préférable d'utiliser les comptages divisionnaires pour répartir les consommations par un prorata, de telle façon que la somme des consommations réparties soit égale à la consommation au compteur général.

Il existe deux technologies de compteurs d'énergie électrique :

- **les compteurs électroniques.** C'est couramment un capteur à effet Hall qui convertit le produit du courant et de la tension en une grandeur électrique numérisée pour affichage et/ou transmission. Les compteurs électroniques remplacent les anciens compteurs électromécaniques pour la facturation au point de livraison



- **les compteurs électromécaniques à disque.** La vitesse de rotation est proportionnelle à la puissance. Le comptage du nombre de tours donne l'énergie consommée. Ces compteurs restent les plus répandus sur les installations existantes anciennes. Ils ne sont plus commercialisés

Les principaux critères pour choisir un compteur électrique :

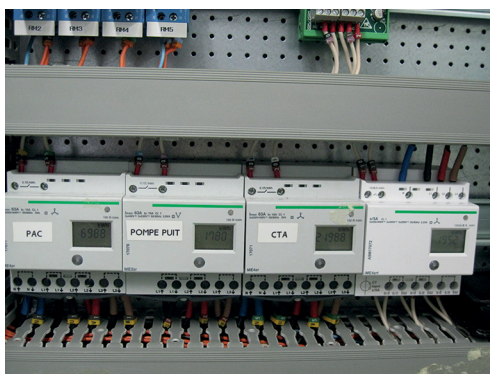
- la classe de précision en fonction de l'usage et de la puissance raccordée
- le calibre de tension (monophasé 230 V ou triphasé 380 V)
- le calibre de courant, par exemple 5 ou 10 A (pour des puissances raccordées élevées, un transformateur d'intensité est nécessaire)
- la résolution de l'index pour la précision de lecture et la capacité de comptage, généralement liée au calibre
- le montage : les compteurs divisionnaires s'installent couramment sur rail DIN en armoire ou coffret électrique
- les sorties disponibles en fonction de l'usage : sortie impulsionnelle, bus de communication, infrarouge, courant porteur...

Deux normes spécifient la classe de précision des compteurs électriques, la norme internationale CEI 62053-21/-22 et la norme EN 50470-1/-3 sur laquelle s'appuie la directive MID.

La classe 1 de la norme CEI 62053-21/-22 correspond à 1% d'incertitude relative sur une mesure correspondant au calibre. Cette incertitude absolue s'applique sur l'ensemble de la plage. La certification MID est aujourd'hui obligatoire pour la facturation d'énergie. Cette certification présente également des classes de précision spécifique A, B et C. La classe A équivaut à une précision de 2%, la classe B à 1% et la classe C à 0,5%. A noter que ces classes de précision doivent s'appliquer sur l'ensemble de la chaîne de mesure (transformateurs de courant et tension) et non simplement sur l'instrument lui-même.

Une sortie par impulsions peut être utilisée par des appareils divers : gestionnaires d'énergie ou systèmes de GTB. Le poids des impulsions est choisi en fonction du niveau de consommation et du détail d'analyse souhaité. Par exemple, pour suivre le fonctionnement d'un équipement, un poids d'impulsion de l'ordre du wattheure est nécessaire. Pour le suivi de consommations hebdomadaires ou plus, un pas de l'ordre du kilowattheure est suffisant.

Les compteurs électroniques offrent des fonctionnalités d'information et de communication. Ils permettent des transmissions par bus de communication, infrarouge ou par un protocole de téléphonie mobile (comme le GSM/GPRS).



▲ Figure 23 : Compteurs électriques divisionnaires

Les transformateurs d'intensité

Pour les faibles intensités, le compteur électrique divisionnaire est raccordé en direct (Figure 24) (Figure 25). Au-dessus de 100 A (ou pour de plus faibles calibres selon les modèles de compteurs), des transformateurs d'intensité s'imposent. Ils permettent d'adapter le niveau d'intensité au calibre du compteur lorsque celle-ci est trop élevée. Ils sont caractérisés par le rapport de transformation, par exemple de 100/5 A.

Le transformateur est placé autour du conducteur, comme à la (Figure 26).

8.3. • Choix d'autres instruments

Il existe une grande variété de solutions ou d'appareils qui permettent de mesurer l'énergie électrique pour des comptages divisionnaires.

Les solutions les plus simples. Pour estimer des consommations divisionnaires, il est envisageable, sous certaines conditions, de ne mesurer que des intensités.

Des convertisseurs d'intensité se posent plus simplement qu'un compteur, des pinces ampèremétriques permettent une mise en place encore plus simple. De telles solutions ne sont applicables que si le facteur de puissance du consommateur est égal à un ou s'il est connu et suffisamment constant au cours de l'exploitation. La tension du secteur en tête de la distribution peut fluctuer, elle doit être connue pour calculer les consommations. Il est préférable de l'enregistrer par un convertisseur de tension. De telles solutions ne permettent pas d'atteindre la précision d'un compteur mais elles permettent de mener des suivis temporaires pour déceler des consommations intempestives ou des dérives.

Il existe des systèmes qui rassemblent les comptages divisionnaires dans un seul boîtier placé au niveau général. La tension est mesurée au niveau général, des convertisseurs de courant sont placés aux niveaux divisionnaires. Les mesures de courant sont transmises par radio fréquences ou par courants porteurs au boîtier qui effectue les comptages et les affiche.



Les appareils multifonctions. Il existe différents types d'appareils (centrales de mesure, analyseurs de réseaux...) qui regroupent des fonctions qui facilitent la surveillance et la supervision des installations : affichage des courbes de charges, séparation des consommations par tranches horaire, pour suivre en détail et gérer l'énergie électrique. Ils peuvent aussi surveiller les qualités de l'énergie électrique : coupures, micro-coupures, surtensions, fluctuations rapides de tension, facteurs de puissance, déséquilibre des phases, distorsion harmoniques, variation de fréquence...

Des systèmes intelligents peuvent aussi intégrer des fonctions automatiques de délestage pour permettre à l'utilisateur d'optimiser sa consommation en fonction de la grille tarifaire.

Ces fonctions font les compteurs dits « intelligents » qui communiquent, d'un côté avec les équipements consommateurs des bâtiments et de l'autre côté, avec les réseaux du fournisseur (les « smart grids ») qui doivent gérer de multiples sources d'énergie, renouvelables ou non.

8.4. • Pose des instruments sur les installations

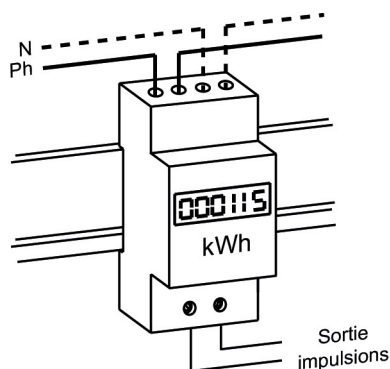
Il existe plusieurs types de raccordement électrique d'un compteur divisionnaire en fonction du type d'installation (monophasé, triphasé), en fonction du niveau d'intensité (raccordement en série ou par un transformateur de mesure). Les (Figure 24), (Figure 25) et (Figure 26) présentent des exemples de raccordements.

L'installation de compteurs électriques doit être réalisée par des personnels habilités pour intervenir sur les installations électriques. L'électricité présente un danger permanent, toute intervention sur une installation nécessite une habilitation spécifique.

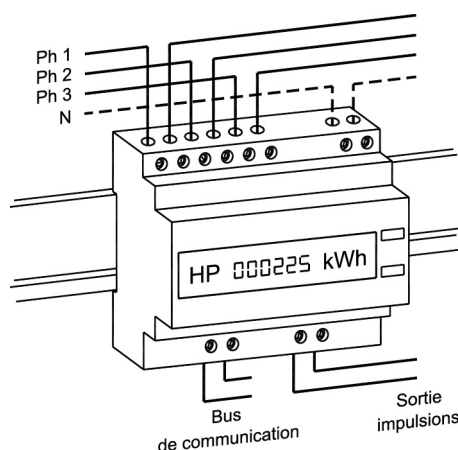
L'habilitation électrique est la reconnaissance par un employeur de la capacité d'un collaborateur à accomplir en sécurité les tâches fixées.

Elle n'est donc pas directement liée à la classification professionnelle et doit être révisée en cas de mutation, de changement de fonction, d'interruption prolongée d'activité ou encore d'évolution des méthodes de travail.

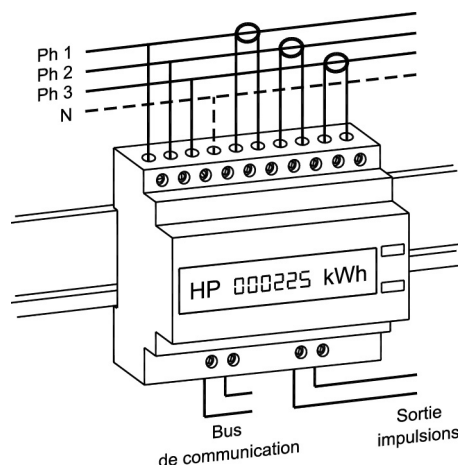
Plusieurs niveaux d'habilitation existent pour chaque type d'intervention selon les domaines de tension.



▲ Figure 24 : Raccordement d'un compteur électrique divisionnaire monophasé



▲ Figure 25 : Raccordement d'un compteur électrique divisionnaire triphasé en série



▲ Figure 26 : Raccordement d'un compteur électrique divisionnaire triphasé avec transformateurs d'intensité

8.5. • Maintenance

Les opérations de maintenance des compteurs d'énergie électrique ne diffèrent pas de celles des appareils qui équipent les armoires : nettoyage (poussières par les effets de l'électricité statique), vérification périodique du serrage des bornes. Aucune maintenance métrologique n'est nécessaire.

Toutefois, les composants électroniques sont fragiles, notamment en cas de foudre. Un contrôle de fonctionnement est conseillé suite à une surtension ou un orage.



DÉBIT ET CONSOMMATION D'EAU

9



9.1. • Applications

Les compteurs de volume d'eau froide ou d'eau chaude sont utilisés pour :

- facturer les consommations par le fournisseur d'eau
- individualiser les consommations, répartir des frais, principalement pour les usages domestiques de l'eau chaude sanitaire (ECS) en collectif
- surveiller les éventuels débits permanents qui diffèrent des usages courants ; ils peuvent être significatifs de fuites de robinets, de fuites sur les réseaux, ils peuvent prévenir des dégâts des eaux
- surveiller les introductions d'eau dans les systèmes de chauffage à eau chaude pour prévenir les fuites et les conséquences sur les chaudières et les réseaux : embouage, corrosion
- comptabiliser la consommation d'ECS pour mener la maintenance prédictive des équipements : détartrage, entretien des générateurs
- superviser les fonctionnements par des historiques ou tableaux de bord
- évaluer la part de l'énergie consommée pour produire l'ECS dans le cas d'une production mixte chauffage-ECS.
- informer périodiquement les gestionnaires et les utilisateurs des consommations afin d'inciter aux meilleurs usages et à la mise en place d'équipements économes

Les compteurs d'énergie thermique intègrent un compteur de volume d'eau. Ils sont décrits au chapitre 11 (cf. 11).



9.2. • Choix d'un compteur d'eau

Les technologies

Plusieurs technologies sont employées pour mesurer des débits ou compter des volumes, leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau de la (Figure 27).

Les principaux types de compteurs :

- **volumétrique**, à piston rotatif ou à piston oscillant. Le volume qui traverse le compteur est déterminé à partir du nombre de chambres remplies pour transférer le fluide
- **à hélice**, à jet unique ou à jets multiples. Le volume est obtenu par une mesure de vitesse
- **de type Woltmann**. Le volume est mesuré par la vitesse de rotation d'une turbine axiale ou verticale
- **à ultrasons**. La vitesse du fluide est obtenue à partir de la différence de temps de propagation de deux ondes acoustiques en sens opposé dans l'écoulement du fluide
- **électromagnétique**. Le débit du fluide est mesuré par la différence de potentiel créée par le mouvement du fluide (l'eau est conductrice de l'électricité) s'écoulant perpendiculairement au champ magnétique

Ces deux dernières technologies, dites « statiques », ne mettent pas de pièce en mouvement. Elles ont l'avantage d'avoir une meilleure longévité et une insensibilité aux impuretés ou aux particules véhiculées par l'eau.

Technologie	Calibre	Avantages	Contraintes
Compteur volumétrique à piston	DN 15 à 65	coût ; précis pour les faibles débits ; aucune longueur droite	encombrement ; bruit ; sensible aux impuretés ; usure ; perte de charge élevée
Compteur à hélice à jet unique	DN 15 à 150	précision ; coût ; adapté aux faibles débits ; petite taille ; pas de coupure d'eau en cas de blocage	filtre et stabilisateur en amont ; positionnement horizontal recommandé
Compteur à hélice à jets multiples	DN 15 à 50	coût ; adaptés aux faibles débits ; pas de coupure d'eau en cas de blocage ; robustesse	filtre et stabilisateur en amont ; positionnement horizontal recommandé
Compteur Woltmann à turbine axiale	DN 40 à 200	adapté au grand débit ; robuste ; comptabilisation possible du flux inversé ; perte de charge faible	filtre et stabilisateur recommandés en amont ; longueurs droites amont/aval
Compteur Woltmann à turbine verticale	DN 40 à 800	coût ; robuste ; large plage de mesure ; pas ou peu de longueur droite ; débit de démarrage faible	positionnement horizontal uniquement ; débit maximal limité ; filtre et stabilisateur recommandés en amont

Technologie	Calibre	Avantages	Contraintes
Compteur à ultrasons	DN 25 à 5000	perte de charge très réduite ; fiabilité et précision de mesure ; insensible aux impuretés ; pas d'usure	ne pas soumettre l'appareil aux vibrations ; ne pas entraîner des bulles d'air dans l'eau
Compteur électromagnétique	DN 15 à 3000	perte de charge très réduite ; fiabilité et précision de mesure ; mesure bidirectionnelle ; insensible aux impuretés ; pas d'usure	

▲ Figure 27 : Principales caractéristiques des différentes technologies des compteurs d'eau

Les principaux critères pour choisir un compteur d'eau sont détaillés ci-après :

- la plage de température
- l'exactitude du comptage
- le calibre ou débit nominal
- la perte de charge
- l'affichage, le télérelevé

La plage de température d'eau

Les compteurs d'eau froide destinés à fonctionner dans des plages de 0-30°C ou 0-50°C sont utilisés sur les circuits d'eau de ville ou les circuits d'eau glacée. Si ces compteurs sont placés dans des locaux réchauffés, ils doivent être protégés contre la condensation. La température de l'eau de ville est couramment de 12°C environ, elle peut être inférieure.

Les compteurs d'eau chaude peuvent fonctionner jusqu'à 90°C, ou plus selon les indications du fabricant. Ils sont installés sur les distributions d'ECS pour individualiser des consommations. Ils peuvent aussi servir de débitmètre sur les installations de chauffage.

La pression nominale admissible : PN10 ou PN16 peut être en relation avec la température maximale indiquée par le fabricant.



▲ Figure 28 : Compteur d'eau à jets multiples





L'exactitude du comptage

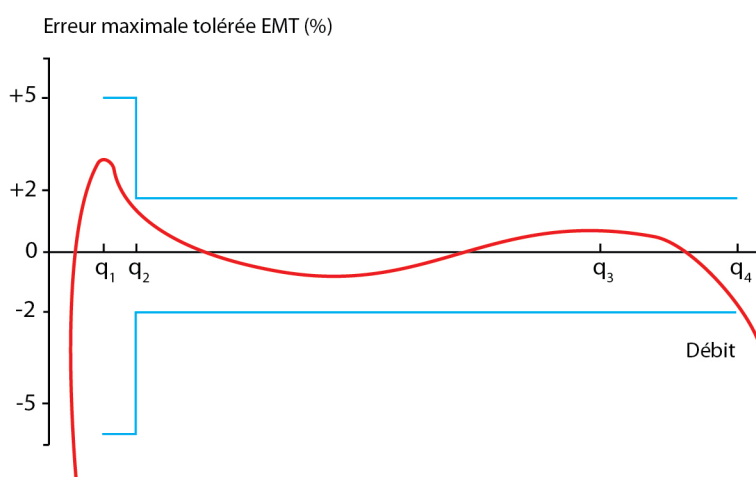
La courbe d'erreur d'un compteur d'eau est caractérisée par trois plages limitées par ces trois débits (Figure 29) :

- q_1 : débit minimal mesurable au-dessus duquel une erreur maximale tolérée (EMT) est spécifiée. En-dessous de ce débit, l'erreur peut être très élevée. Pour les compteurs mécaniques, les effets du frottement deviennent trop sensibles
- q_2 : débit de transition au-dessus duquel le compteur respecte une EMT plus réduite
- q_3 : débit permanent qui définit le calibre du compteur. Il équivaut au **débit nominal** q_n dans l'ancienne désignation

q_4 est le débit de surcharge auquel le compteur peut être soumis durant une courte période de temps, sans perdre ses qualités métrologiques.

Les notations q_1 , q_2 , q_3 , q_4 se trouvent dans la Directive européenne MID 2004/22/CE. Cette directive est transcrite en droit français par l'arrêté du 28 avril 2006. Les compteurs d'eau utilisés pour facturation doivent répondre à ces règles :

- $q_3/q_1 > 10$
- $q_2/q_1 = 1,6$
- $q_4/q_3 = 1,25$
- EMT pour les débits de q_1 à q_2 : $\pm 5\%$
- EMT pour les débits de q_2 à q_4 : $\pm 2\%$ pour une température d'eau inférieure à 30°C et $\pm 3\%$ pour plus de 30°C



▲ Figure 29 : Exemple de courbe d'erreur d'un compteur d'eau

Le calibre ou débit nominal

Un compteur d'eau ne doit pas être choisi simplement selon le diamètre de la conduite sur laquelle il sera installé. Il convient de choisir le calibre (débit nominal ou débit permanent q_3) adapté en considérant la précision attendue sur la plage de débit à mesurer.



La courbe d'erreur montre qu'un surdimensionnement des compteurs d'eau est préjudiciable à la qualité de la mesure. Les débits les plus fréquents se situent alors dans les plages où les erreurs sont les plus élevées (entre q_1 et q_2) (Figure 29).

La perte de charge

La perte de charge du compteur doit être prise en compte lors de la conception et de la mise en service des installations (choix et réglage des circulateurs, équilibrage). Il convient d'ajouter les pertes de charge des accessoires des compteurs : filtre, vannes d'arrêt, éventuels changements de diamètres, ainsi que les longueurs droites.

L'affichage, le télérelevé

La résolution de l'index, c'est-à-dire le poids du dernier chiffre affiché doit être en relation avec la précision attendue entre deux relevés. Des relevés hebdomadaires ou plus fréquents peuvent être menés pour suivre des consommations.

Les compteurs sont équipés – ou peuvent être équipés – d'un dispositif permettant de transmettre les informations :

- soit les unités de volume comptées. Un détecteur devant une roue émet une impulsion à chaque tour (dispositif « émetteur d'impulsions »). Avec le volume unitaire (ou poids d'une impulsion) connu, le comptage à distance permet de connaître un débit ou une consommation sur une durée donnée, avec la résolution désirée
- soit de transmettre la valeur de l'index. Des lecteurs électroniques transmettent directement la valeur du comptage

9.3. • Emplacement

Les emplacements indiqués

- placer le compteur sur une branche qui se trouve à la température la plus proche de l'ambiance : sur la canalisation de retour d'une installation de chauffage ou d'un réseau d'eau glacée, sur l'arrivée d'eau froide d'un générateur ou d'un ballon d'ECS
- disposer le compteur sur une branche horizontale ou verticale. Il convient pour cela de suivre les prescriptions du fabricant
- implanter les compteurs sur une branche en bas de l'installation afin de maintenir les compteurs en eau et éviter les phénomènes de dégazage. Les bulles d'air perturbent les mesures des compteurs à ultrasons
- positionner le compteur dans l'axe des tuyauteries amont et aval.

- prévoir des distances de dégagement autour des compteurs pour faciliter la lecture et le démontage, selon les indications du fabricant



Certains compteurs mécaniques ne doivent travailler qu'en position horizontale. Leur bon fonctionnement en dépend.

Cette indication est très importante pour les technologies mécaniques : compteur Woltmann à hélice verticale, compteur à jet, compteur volumétrique.

Les emplacements à éviter

Il s'agit d'éviter :

- les emplacements qui risquent de soumettre l'appareil au gel ou au rayonnement solaire
- de placer un compteur en dessous d'équipements susceptibles de fuir comme les brides ou les vannes.

Les mesures pour stabiliser les écoulements

Les compteurs sont étalonnés pour des conditions d'écoulement stabilisées, c'est-à-dire suffisamment éloignés de composants perturbateurs de l'écoulement en amont, mais aussi en aval. Les principaux éléments perturbateurs sont :

- les coudes, principalement les coudes successifs qui ne sont pas dans le même plan et qui provoquent une giration de la veine
- les changements de section, principalement les élargissements
- les circulateurs (chauffage) ou les surpresseurs (eau sanitaire) qui provoquent des pulsations

Il faut donc respecter les longueurs droites en amont et en aval indiquées par le fabricant. Elles dépendent de la technologie du compteur, plus ou moins sensible aux effets de l'écoulement. Elles sont généralement indiquées en fonction du diamètre. Citons pour l'exemple :

- en amont : 6 x Diamètre
- en aval : 3 x Diamètre

Des stabilisateurs d'écoulement (grilles ou stabilisateurs en canaux) permettent de réduire des longueurs droites en amont et en aval des éléments perturbateurs.

Prévoir des accessoires

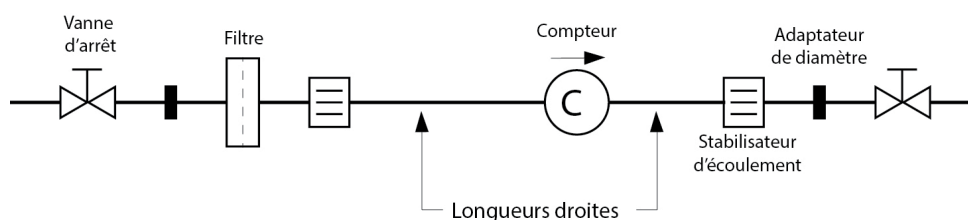
Les accessoires à prévoir :

- **des filtres** en amont sont imposés par certains fabricants de compteurs mécaniques qui risquent une détérioration trop



rapide. Ils doivent être facilement démontables. Notons qu'un filtre incliné s'installe toujours à contre-courant du sens de circulation de l'eau

- **des vannes d'isolement** facilitent la dépose lors du rinçage de l'installation, d'un étalonnage ou du remplacement de l'instrument
- **des cônes de réduction** peuvent être nécessaires pour raccorder les longueurs droites sur des conduites de diamètre différent. Il convient que ces longueurs soient du même diamètre que celui du compteur
- **des supports de conduite avec amortisseurs** sont recommandés pour les compteurs à ultrasons pour éviter les vibrations importantes
- **des accessoires pour faciliter le démontage** : des vannes d'arrêt à passage direct avant et après les longueurs droite, un robinet de vidange, un tube de remplacement ou un bipasse en parallèle pour déposer plus aisément la longueur de canalisation avec le compteur



▲ Figure 30 : Différentes précautions peuvent être envisagées, en amont et en aval d'un compteur d'eau (elles dépendent de la technologie et de la fabrication du compteur)

9.4. • Pose

- respecter le sens d'écoulement, il est indiqué par une flèche sur le corps du compteur
- rincer les canalisations afin d'éliminer les particules solides qui pourraient endommager les appareils
- purger les circuits de l'air
- choisir des joints d'étanchéité neufs
- manipuler les compteurs par le corps du débitmètre et non par le totalisateur pour éviter de l'endommager
- éviter un remplissage brusque : ouvrir lentement la vanne amont, vanne aval fermée, puis ouvrir progressivement la vanne aval et vérifier le fonctionnement du compteur
- démonter le compteur avant de braser ou souder à proximité, les températures élevées risquent de détériorer des pièces du compteur

9.5. • Maintenance

Les compteurs d'eau doivent faire l'objet d'un contrôle annuel. Il convient de vérifier :

- l'état des joints, les resserrer en cas de besoin
- l'encrassement des filtres
- le bon fonctionnement des vannes d'isolement, des purgeurs d'air et des clapets anti-retour
- l'absence de dépôts ou de tartre sur les longueurs droites

Il existe des compteurs démontables pour faciliter le nettoyage ou la réparation des parties mécaniques internes. Certains appareils sont équipés d'engrenages auto-nettoyables.

Pour conserver les qualités métrologiques, un étalonnage tous les 7 ans est conseillé. Le compteur est alors vérifié sur un banc avec les longueurs droites identiques à celles de son installation.

Des vérifications périodiques peuvent être obligatoires en fonction de l'application (Arrêté du 6 mars 2007 relatif au contrôle des compteurs d'eau froide en service). L'étalonnage est alors réalisé par un organisme « vérificateur » accrédité COFRAC.



10

TEMPÉRATURE D'EAU



10.1. • Applications

Les mesures de température d'eau sont nombreuses sur les installations de génie climatique, pour différentes fonctions de régulation et de surveillance des installations pour la production, la distribution et l'émission de chaleur ou de froid. Les installations d'eau chaude sanitaire sont aussi régulées et surveillées par les mesures des températures de production, de stockage, de distribution par boucle.

Les sondes pour compter l'énergie thermique sont traitées au chapitre 11 (cf. 11) pour leurs particularités.

10.2. • Choix

Les éléments sensibles pour mesurer des températures d'eau en génie climatique utilisent l'une ou l'autre de ces technologies :

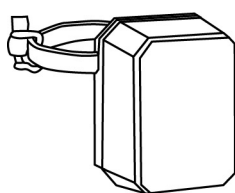
- résistances métalliques, généralement en platine ou en nickel (Pt100, Ni1000 par exemple), dont la résistance ohmique augmente avec la température. Des indications pour raccorder ces capteurs se trouvent au chapitre 5.2 (cf. 5.2)
- thermistances, en matériaux semi-conducteurs dont la résistance varie également avec la température, selon un coefficient négatif (CTN) ou positif (CTP). Leur résistance est plus élevée que celle des résistances métalliques

Les résistances métalliques font l'objet de standards, ce qui n'est pas le cas des thermistances qui ne sont pas interchangeables.

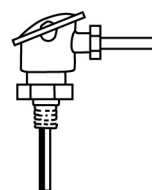


Les capteurs de température d'eau se présentent sous plusieurs formes :

- les sondes à plongeur, destinées à être insérées dans l'écoulement du fluide. Ces sondes peuvent être placées directement dans l'écoulement avec un raccord étanche mais sont plus souvent positionnées dans des doigts de gant afin de pouvoir être retirées et étalonnées sans vidanger l'installation
- les sondes en applique, destinées à être fixées sur les conduites avec un collier de serrage. Ces capteurs sont principalement utilisés pour leur simplicité de pose. Ils ne peuvent pas être utilisés pour compter l'énergie thermique pour cause d'imprécision liée au principe de mesure de la température de la conduite et indirectement du fluide



Sonde d'applique



Sonde à plongeur

▲ Figure 31 : Sonde de température d'eau à poser en applique et sonde à plongeur



Les sondes à plongeur se placent dans un doigt de gant adapté. Le diamètre de la sonde doit correspondre à celui du doigt de gant, au plus près. Les surfaces doivent être en contact.

Les principaux critères pour choisir une sonde de température adaptée :

- plage utile : de 0 à 100°C pour des applications classiques. Pour des applications particulières telles que l'eau glacée ou la vapeur surchauffée, ces valeurs limites peuvent s'étendre à -30°C et + 200°C
- erreur tolérable : de $\pm 0,15$ à $\pm 0,5$ K recommandée en fonction des applications
- fidélité : la faible dérive dans le temps est une qualité importante des sondes de température pour éviter les ré-étalonnages fréquents. Les sondes à résistance métallique présentent la meilleure fidélité.
- temps de réponse : un temps de réponse très faible n'est pas nécessaire pour les applications de génie climatique. Les variations sans signification de la mesure perturbent la stabilité des systèmes de régulation. Les sondes à résistance métallique, les plus fréquemment installées sur les installations de génie climatique, présentent un temps de réponse de l'ordre de la minute



- longueur : l'extrémité de la sonde, où se situe l'élément sensible, doit être positionnée au milieu de la canalisation. Certaines sondes sont munies d'un dispositif de fixation réglable



Les sondes à plongeur placées sur les circuits d'eau glacée doivent comporter un boîtier de raccordement étanche, éloigné des parties froides pour ne pas risquer de condensation dans le boîtier. Pour cela, la sonde doit présenter une longueur supplémentaire en ambiance.

L'information délivrée par ces sondes est transmise par un signal analogique de type 0-10 V, 4-20 mA ou par un réseau de communication. Les sondes à résistance métallique ou les thermistances, dites passives, peuvent être directement raccordées sur les automates adaptés.

Le raccordement des sondes passives nécessite une attention particulière (montage 2, 3 ou 4 fils) (Figure 15) car la résistance en ligne des câbles de raccordement peut perturber la mesure. On préférera un raccordement en 3 fils pour les capteurs Pt100. En revanche, un raccordement en 2 fils est généralement suffisant pour des capteurs Pt1000. Le montage en 4 fils est rare en génie climatique.

10.3. • Emplacement

L'emplacement de la sonde doit être choisi de façon à présenter une température d'eau représentative d'une température moyenne dans l'écoulement. Il faut placer la sonde dans une zone d'écoulement turbulent.

Il faut ainsi préférer les canalisations verticales aux longueurs horizontales, le risque de stratification y étant moins important.

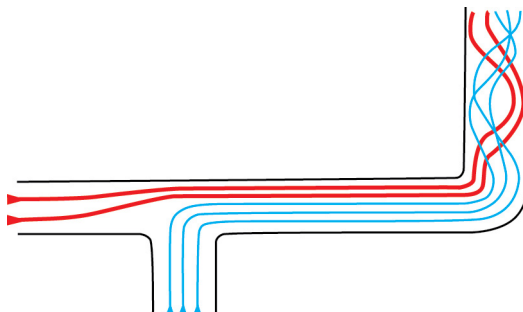
Après un point de mélange ou une vanne à trois voies, une stratification des températures se crée dans la section de la conduite, cet effet peut provoquer des mesures de température très différentes de la moyenne (Figure 32).

Pour se prémunir contre ce phénomène, la sonde de mesure de la température de l'eau mélangée se place après le circulateur qui brasse efficacement le flux. C'est pour cette raison que les circulateurs se trouvent sur le départ des distributions d'eau. C'est le cas très courant de la régulation de la température de départ par un mélange sur les installations de chauffage.

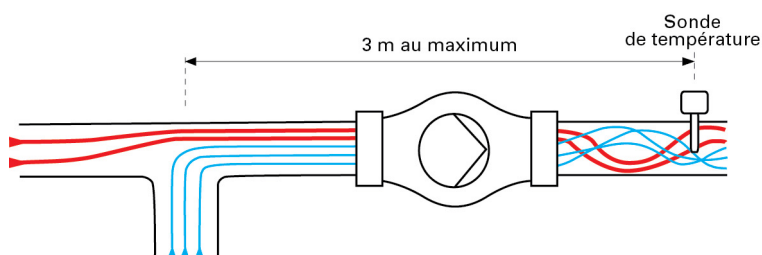
Par ailleurs, cette boucle de régulation de la température de départ ne doit pas comporter un temps de retard significatif. Ainsi, la distance entre le point de mélange et le point de mesure doit être minimisée. Une valeur de 3 m est généralement conseillée (Figure 33).



Si une mesure de température d'eau doit être placée en aval d'un mélange mais qu'il n'est pas possible d'intercaler le circulateur, il convient d'implanter la sonde après une distance suffisante pour que la stratification ne soit plus effective ou sur une canalisation verticale après un coude, comme le montre la (Figure 32).



▲ Figure 32 : Illustration de la stratification après un point de mélange et du brassage dans une canalisation verticale



▲ Figure 33 : Choix de l'emplacement de la sonde de température d'eau pour assurer la représentativité de la mesure et présenter un temps de retard minimum entre la mesure et l'actionneur à commander

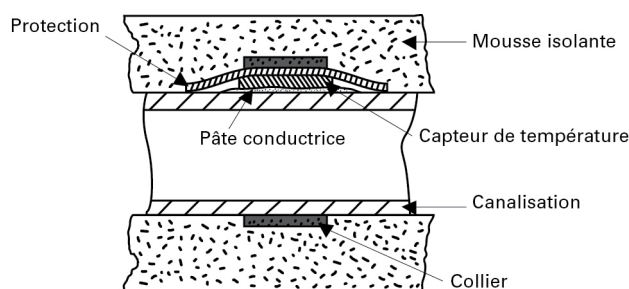
10.4. • Pose

Les sondes en applique réclament une installation soignée (Figure 34).

Il convient de placer de la pâte conductrice thermique entre la canalisation et l'élément sensible pour améliorer le contact.

Un collier de serrage doit maintenir durablement le capteur en place.

Un calorifuge doit recouvrir l'ensemble.



▲ Figure 34 : Précautions de montage des sondes de température d'eau installées en applique

Les sondes à plongeur sont installées dans la canalisation, soit en contact directe avec le fluide avec un raccord étanche à olive (ou ferule), soit insérées dans un doigt de gant.



Pour assurer la représentativité des mesures, il convient de prendre les précautions suivantes (Figure 35) :

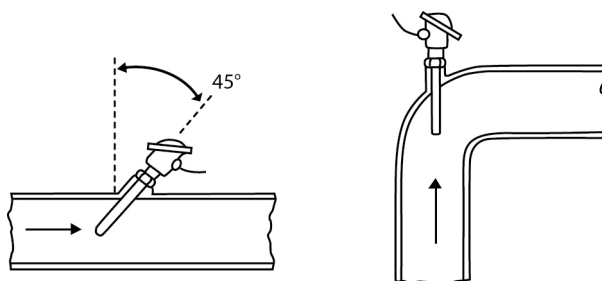
- préférer l'installation dans un coude ou inclinée à 45° à contre-courant du sens du fluide sur une canalisation droite
- l'extrémité de la sonde ou du doigt de gant doit se trouver au centre de la canalisation. Cette contrainte doit être prise en compte au moment du choix de la sonde

Le boîtier de raccordement doit se trouver au-dessus de la canalisation pour ne pas risquer d'être mouillé par une fuite.

On rappelle qu'il convient de choisir le doigt de gant correspondant à la sonde. Le bon contact entre l'extrémité du capteur et le doigt de gant conditionne la précision des mesures. Le remplissage du doigt de gant par une huile ou une graisse conductrice améliore le contact thermique.

Une fois mise en place, il est recommandé de fixer la sonde sur le doigt de gant pour éviter tout risque d'arrachement lors des opérations de maintenance.

Pour le raccordement de la sonde, la longueur de câble prévue doit être suffisante pour permettre de la démonter et de la manipuler aisément. Le surplus de câble doit être proprement enroulé pour éviter tout arrachement accidentel (boucle en attente).



▲ Figure 35 : Précautions de montage des sondes de température d'eau à plongeur

10.5. • Maintenance

L'entretien des sondes de température d'eau consiste à vérifier leur bon état et à maintenir le niveau de remplissage en huile des doigts de gant.

Pour les mesures sujettes à des vérifications et étalonnages périodiques, il est utile de pré-équiper les installations de doigts de gant supplémentaires, proches des sondes à vérifier, afin de placer temporairement la sonde de référence.

S'il faut remplacer une sonde raccordée à un régulateur, il est important de vérifier l'interchangeabilité vis-à-vis du régulateur. Après un changement de sonde, il peut être nécessaire d'ajuster les paramètres du régulateur.

ÉNERGIE THERMIQUE

11



11.1. • Applications

Les mesures de l'énergie thermique transférée par les réseaux hydrauliques sont utilisées par les services techniques à plusieurs fins :

- surveiller les consommations
- mener les suivis énergétiques des bâtiments ; analyser les consommations, enregistrer les historiques, déceler des dérives, présenter des tableaux de bord, proposer des améliorations basées sur des mesures réelles
- facturer l'énergie thermique fournie par un réseau de distribution de chaleur ou de froid
- individualiser les frais de chauffage des installations collectives en immeuble d'habitation ou les frais de climatisation (chaud-froid) dans des ensembles privatifs du secteur tertiaire : galeries marchandes, immeubles de bureaux, bâtiments dispersés alimentés par un réseau privatif
- informer périodiquement les abonnés ou les usagers de leurs consommations afin de les sensibiliser aux meilleurs usages de l'énergie

11.2. • Choix d'un compteur

Présentation des compteurs

Un compteur d'énergie thermique comprend trois éléments :

- **Un mesureur de débit** ou débitmètre ou compteur de volume. Ce mesureur peut être mécanique (hélice, turbine...) ou statique



- (à ultrasons ou électromagnétique) comme décrit au chapitre 9 (cf. 9). Les principales caractéristiques métrologiques qui guident le choix de la plage du mesureur sont décrites ci-après.
- **Deux sondes de température** à placer en doigt de gant, comme décrit au chapitre 10 (cf. 10). Elles mesurent la différence de température entre l'entrée et la sortie du circuit. Les capteurs métalliques en platine (Pt500, Pt100 ou Pt1000) sont choisis pour leur fidélité au long du temps. Les deux capteurs fournis par le fabricant sont appariés pour minimiser l'écart de mesure entre les deux capteurs. Un faible écart résiduel peut provoquer des erreurs relatives importantes si les différences de température à mesurer sont réduites.
 - **Un calculateur** ou intégrateur : boîtier électronique qui reçoit les signaux du mesureur de débit et des sondes de température et qui calcule l'énergie à partir des valeurs de masse volumique et de chaleur massique. Ces paramètres varient avec la température mesurée. Pour l'eau, ils dépendent aussi des additifs comme le glycole.

Les compteurs sont alimentés par le secteur avec une réserve de marche ou par une pile, l'autonomie peut atteindre 10 ans. S'il est raccordé à un réseau numérique (Mbus, par exemple), l'appareil peut être alimenté par le câble. La source d'énergie peut aussi se trouver dans l'environnement du compteur, par effet thermoélectrique par exemple.

Les éléments des compteurs peuvent être séparés ou regroupés dans un seul boîtier, au moins une sonde reste séparée.



Un compteur d'énergie thermique constitue un ensemble étalonné. En cas de défaut, il ne faut jamais remplacer un seul composant.



▲ Figure 36 : Compteur d'énergie thermique



Caractéristiques métrologiques

L'erreur de mesure sur l'énergie dépend des erreurs de deux mesures indépendantes : débit d'eau et différence de températures.

Un compteur d'énergie thermique n'est pas choisi selon la puissance maximale qu'il peut mesurer, mais suivant les deux plages de mesure distinctes.

Les Erreurs Maximales Tolérées (EMT) pour le mesureur de débit, le couple de sondes de température et le calculateur sont données à la (Figure 37), suivant la norme NF EN 1434 ou la recommandation OIML R75-1, pour les 3 classes de compteur. Les EMT sont établies pour les valeurs de débit permanent (q_p) et d'écart minimal de température (ΔT_{\min}) qui sont spécifiées par le fabricant pour chaque modèle de compteur. Le ΔT_{\min} est par exemple de 3 K pour la plupart des compteurs.

Classe	Part de l'EMT sur le débit d'eau	Part de l'EMT sur la différence des températures	Part de l'EMT sur le calculateur
1	$\pm \left(1 + 0,01 \times \frac{q_p}{q} \right) \%$	$\pm \left(0,5 + 3 \frac{\Delta T_{\min}}{\Delta T} \right) \%$	$\pm \left(0,5 + \frac{\Delta T_{\min}}{\Delta T} \right) \%$
2	$\pm \left(2 + 0,02 \times \frac{q_p}{q} \right) \%$	$\pm \left(0,5 + 3 \frac{\Delta T_{\min}}{\Delta T} \right) \%$	$\pm \left(0,5 + \frac{\Delta T_{\min}}{\Delta T} \right) \%$
3	$\pm \left(3 + 0,05 \times \frac{q_p}{q} \right) \%$	$\pm \left(0,5 + 3 \frac{\Delta T_{\min}}{\Delta T} \right) \%$	$\pm \left(0,5 + \frac{\Delta T_{\min}}{\Delta T} \right) \%$

▲ Figure 37 : L'erreur relative maximale tolérée sur l'énergie mesurée est égale à la somme des erreurs des trois éléments

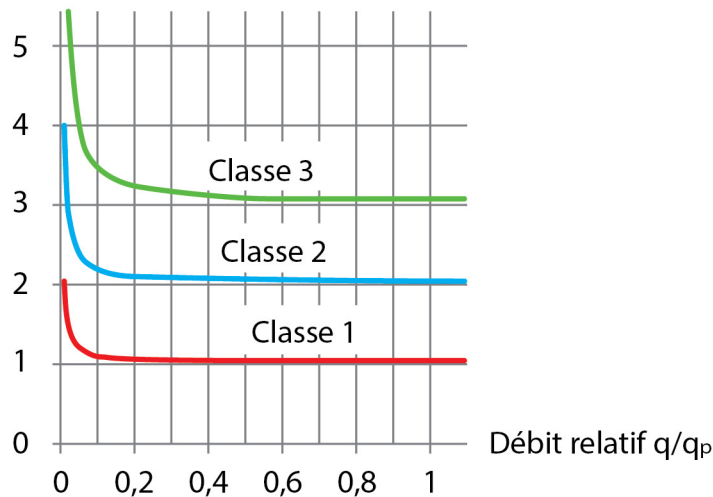
L'erreur sur le comptage de l'énergie se calcule par la somme des erreurs maximales tolérées (EMT) de ses trois composants.

Erreurs Maximales Tolérées sur le débit.

La classe du compteur d'énergie détermine de fait l'erreur du mesureur de débit (Figure 38). La plupart des compteurs sont de classe 1.

Les mesureurs sont caractérisés par un débit permanent (q_p) ou débit nominal et par un débit minimal au-dessous duquel l'erreur tolérable n'est pas spécifiée (cf. 9.2). Les compteurs mécaniques présentent aussi un débit de démarrage au-dessous duquel le mesureur ne tourne pas.

Erreur maximale tolérée EMT (%)

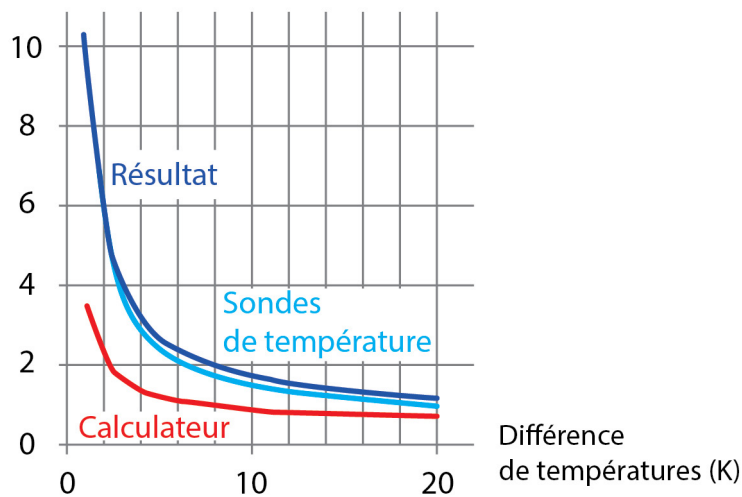


▲ Figure 38 : L'erreur maximale tolérée sur la mesure du débit de volume, selon la (Figure 37)

Erreurs Maximales Tolérées sur la différence de températures.

L'écart minimal ΔT_{\min} qui est une caractéristique déclarée par le fabricant, permet de calculer les erreurs des sondes de température et du traitement de leurs mesures (calculateur), selon la (Figure 37). La (Figure 39) présente ces erreurs ainsi que l'erreur résultante calculée par la somme quadratique de ces deux erreurs, pour un écart minimal ΔT_{\min} de 3 K.

Erreur maximale tolérée EMT (%)



▲ Figure 39 : Les erreurs maximales sur la mesure de la différence de températures pour un ΔT_{\min} de 3 K : part de l'EMT des sondes, du calculateur et EMT résultante

Le paramètre ΔT_{\min} ne correspond pas à proprement parler à une différence minimale mesurable. La plus grande part de cette erreur vient de l'écart de mesure permanent entre les deux sondes ou erreur d'appariement. La plupart des compteurs présentent une valeur ΔT_{\min} de 3 K, elle correspond à une erreur d'appariement proche de 0,1 K. Il est peu probable d'atteindre une incertitude inférieure à cette valeur sans précautions métrologiques particulières.



Il est donc préférable de placer les compteurs d'énergie thermique sur des circuits qui présentent des écarts de température les plus élevés, c'est-à-dire des valeurs minimales de débits (cf. 11.3).

Il faut aussi prendre des précautions pour monter les deux sondes sur les installations afin de ne pas les soumettre à des influences thermiques différentes.

Autres caractéristiques des compteurs, fonctions supplémentaires

Outre la classe et le ΔT_{\min} , un compteur d'énergie thermique est choisi en considérant ces autres caractéristiques principales :

- la différence de température maximale mesurable
- la plage des mesures de température
- la perte de charge provoquée par le mesureur de débit
- la pression maximale admissible
- les longueurs droites à prévoir en amont et en aval du mesureur
- la résolution de l'index par rapport à la précision et à la capacité de comptage
- les informations affichées et celles qui sont disponibles par un réseau numérique comme Mbus

De plus, pour les circuits de refroidissement, il faut choisir des appareils spécialement protégés contre la condensation sur les parties électriques et les raccordements : boîtiers étanches, bornes de raccordement déportées en dehors des zones froides.

Pour les installations hydrauliques qui commutent le fonctionnement été-hiver, il existe des compteurs réversibles. Ces compteurs possèdent deux index. Le comptage de l'énergie calorifique ou de l'énergie frigorifique est commuté autour d'une température d'eau de 25 °C et pour un écart de température supérieur à 0,5 K (valeur absolue).

NOTE

Le compteur d'énergie réversible peut être remplacé par deux compteurs, l'un configuré pour comptabiliser l'énergie calorifique, l'autre pour l'énergie frigorifique.

Certains compteurs offrent des fonctionnalités utiles pour la surveillance ou le suivi énergétique des installations de génie climatique. Ils permettent d'afficher, enregistrer ou transmettre les valeurs du débit, des températures, de leur différence, de l'énergie comptée durant une période donnée, ainsi que leurs statistiques : cumuls, moyennes, minimales, maximales. Ils permettent de présenter des tableaux de bord hebdomadaires ou mensuels pour informer les occupants. Il est aussi possible de programmer des alarmes selon des seuils de température, de débit ou de puissance.



La communication des informations des compteurs d'énergie thermique peut se faire par bus de communication câblé, transmission optique ou radio fréquence.

Note : Certains circulateurs permettent de déterminer l'énergie thermique en mesurant température et débit en interne et en ajoutant une sonde de température de retour.

Contraintes particulières pour facturer l'énergie

Les compteurs qui sont utilisés pour facturer la fourniture d'énergie thermique ou répartir les frais d'énergie doivent être approuvés. En France, les essais de conformité sont faits par le LNE, Laboratoire National de métrologie et d'Essais. L'arrêté du 3 septembre 2010 relatif aux compteurs d'énergie thermique décrit les conditions dites « d'usage réglementé » pour les appareils destinés à facturer l'énergie.

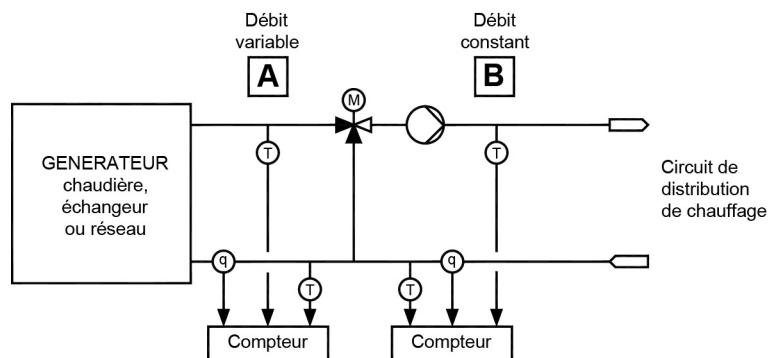
Pour les autres applications, comme les suivis énergétiques, l'approbation des compteurs ne constitue pas une exigence. Il est cependant recommandé de choisir un appareil approuvé pour ses qualités métrologiques.

11.3. • Emplacement

Emplacement d'un compteur d'énergie sur les circuits

Si le choix de l'emplacement est permis, comme illustré en (Figure 40), il est préférable de placer un compteur sur le circuit à débit variable, en A, car la différence de températures est d'autant plus élevée que la puissance est faible. Par contre, pour le compteur placé en B, la différence de température se réduit en proportion de la puissance.

Cette recommandation est justifiée par les courbes d'erreur des (Figure 38) et (Figure 39).



▲ Figure 40 : Il est parfois possible de choisir l'emplacement du compteur sur les circuits de tête de distribution, en A ou B. Les EMT du comptage sont plus réduites sur le circuit A, à débit variable

Pour un circuit à débit variable, comme en A, l'erreur maximale tolérée sur le mesureur du débit de classe 1 reste à près de 1 %, sauf pour les plus faibles valeurs de débit (Figure 38). Les différences de températures mesurées restent supérieures à la différence de températures



nominale. Pour les installations de chauffage qui présentent une chute nominale de 20 K, la différence de températures mesurée entre la sortie du générateur et le retour de la distribution est supérieure à 20 K, l'EMT sur cette mesure reste à environ 1 % (Figure 39). L'EMT sur la mesure de l'énergie reste donc proche de 2 %, sauf pour les plus faibles débits mesurés.

Sur un circuit à débit variable, le débit d'eau réglé par la vanne peut être très réduit, jusqu'à une fraction de pourcent du débit nominal. Il convient donc de choisir un mesureur qui présente un faible débit minimum (une grande dynamique de mesure). Ce débit minimum doit être comparé à l'incapacité de la vanne de régulation à régler progressivement des débits très faibles, au-dessous de son K_{vr} (K_v minimum de réglage). Au-dessous de ce seuil, la vanne présente un fonctionnement oscillant « tout ou peu » entre la fermeture et cette valeur de K_{vr} . Si le débit minimum du compteur est inférieur au débit qui résulte du K_{vr} , la précision du compteur n'est pas affectée.

Pour un circuit à débit constant, comme en B, l'EMT de la différence de température est d'autant plus élevée que cette valeur est faible (Figure 39). Une installation de chauffage fonctionne approximativement durant plus de 80% de la durée de chauffage à moins de 50% de sa puissance. Pour une chute nominale de 20 K, la différence de température mesurée est donc inférieure à 10 K durant environ 80% de la durée de chauffage. La (Figure 39) montre que cette erreur peut atteindre 3 à 5% selon les fréquences des puissances durant la période de chauffage. Si le débit d'eau dans l'installation de chauffage est supérieur au débit suffisant, la chute nominale est plus réduite, l'EMT sur la différence de température devient encore plus importante. Il convient donc de réduire les débits sur les installations.

Cette remarque s'applique aussi aux installations de climatisation par eau, pour lesquelles l'élévation de température nominale est souvent de 5 K. Une élévation de température supérieure à cette valeur est profitable, comme indiqué ci-après.

Procédure recommandée pour choisir les plages d'un compteur d'énergie

Avec la puissance nominale du circuit sur lequel doit être placé le compteur, établir le débit et la chute (couramment de 15 à 20 K en chauffage) ou l'élévation de température (plus de 5 K en refroidissement) à mesurer.

Le compteur est choisi avec ces deux paramètres en considérant qu'il est toujours préférable de choisir un débit inférieur au débit établi ainsi et que le débit nominal ou permanent d'un compteur peut être dépassé temporairement selon les indications du fabricant.

Lorsque le compteur est en place, ses mesures de débit et de températures peuvent être utilisées pour la mise au point du circuit.



La limitation des débits nominaux sur les installations de génie climatique présente les avantages suivants.

La puissance thermique n'étant pas affectée sensiblement par une réduction du débit nominal, cette limitation permet :

- une consommation d'électricité des circulateurs plus faible
- un meilleur fonctionnement des régulations thermiques

Ce dernier point provient de deux phénomènes : de grandes chutes (ou élévations) procurent des réglages plus progressifs des puissances et si les débits sont réduits par des pertes de charge des vannes plus résistantes au passage de l'eau (K_v plus réduit), leur autorité est encore améliorée.

Ainsi, outre l'amélioration de la précision de la mesure de l'énergie, la réduction des débits apporte plusieurs avantages sur les installations de génie climatique : régulations performantes, économies d'électricité, réduction des tailles de composants, donc de leurs coûts.

Pour les circuits de distribution d'eau glacée, une élévation de l'écart nominal au-delà de 5 K procure des avantages supplémentaires : réduction des volumes des condensats, énergie latente plus réduite au profit de l'énergie sensible, amélioration du coefficient thermodynamique de la production de froid, enfin, réduction de l'EMT sur des différences de températures faibles : quelques degrés, en moyenne au long de la durée d'exploitation.

11.4. • Pose et mise au point

NOTE

Se référer respectivement aux chapitres 9 et 10 pour la pose des compteurs d'eau (cf. 9) et des sondes de température (cf. 10).

Pour les aspects thermiques et hydrauliques des composants du compteur d'énergie

Outre l'emplacement du comptage (Figure 40), des choix portent sur la place des composants posés sur les circuits en considérant les influences thermiques et hydrauliques :

- placer de préférence le mesureur de débit sur le circuit de retour de l'installation de chauffage (Figure 40) ou de refroidissement, le niveau de température est plus proche de la température ambiante. En tout état de cause, s'assurer que la température du mesureur restera inférieure à la température admissible
- placer un filtre en amont, proche du mesureur de débit, pour les compteurs mécaniques selon les indications du fabricant (un filtre peut ne pas être nécessaire pour un compteur à ultrasons)

- prévoir un second doigt de gant proche de l'un des deux afin de pouvoir placer les deux sondes à la même température, pour vérifier l'écart de mesure
- si une mesure de température se trouve en aval d'un mélange, placer la sonde en aval du circulateur pour profiter de son effet de brassage (Figure 33). Un mesureur mécanique de débit peut aussi réaliser un brassage pour homogénéiser la température dans la canalisation
- placer les deux sondes dans des conditions de montage identiques (même diamètre de canalisation, même inclinaison, mêmes influences thermiques par rayonnement) afin que les perturbations thermiques – même les plus faibles – soient les mêmes pour les deux sondes
- porter une attention particulière sur la correspondance des diamètres entre les doigts de gant et les sondes insérées
- prévoir la même inclinaison des doigts de gant pour les remplir d'une huile conductrice
- prévoir la possibilité de placer les deux sondes au même endroit, à la même température, afin de mesurer ou régler l'écart de mesure résiduel entre les deux sondes
- placer l'affichage du calculateur à hauteur des yeux pour faciliter la lecture
- ne pas soumettre le calculateur à des températures ambiantes élevées ou à un rayonnement thermique important. La plage de température ambiante admissible s'étend généralement de 5 à 55°C

Pour les aspects électricité et câblage

- les câbles des sondes de température ne doivent pas être modifiés, en nature et en longueur, sans les indications du fabricant
- installer un dispositif de protection électrique pour les instruments alimentés par le secteur
- éloigner autant que possible le calculateur des champs électromagnétiques : câbles électriques parcourus par des courants élevés, machines. Les câbles de signaux entre le mesureur de débit, les sondes de température et le calculateur doivent aussi être éloignés des câbles de puissance. La distance minimale généralement préconisée est de 5 cm

Des classes permettent de caractériser les contraintes d'environnement des compteurs (Figure 41). La plupart des produits disponibles actuellement sur le marché sont de classe A ou C, pour être posés à l'intérieur des bâtiments.



	Classe A	Classe B	Classe C
Usage	Usage domestique Installations intérieures	Usage domestique Installations extérieures	Usage industriel
Température ambiante	5 à 55°C	-25 à 55°C	5 à 55°C
Conditions d'humidité	faibles	normales	normales
Conditions électriques et électromagnétiques	normales	normales	élevées
Conditions mécaniques	faibles	faibles	faibles

▲ Figure 41 : Les classes d'environnement selon la norme NF EN 1434-1

La Directive MID 2004/22/CE donne des indications pour caractériser l'environnement des instruments. Elle concerne les sources de perturbations telles que les perturbations électromagnétiques (notées E) et les perturbations mécaniques (notées M). La majorité des compteurs sont de classe électromagnétique E1 (c'est-à-dire domestique ou petite industrie) et de classe mécanique M1 (installation fixe avec peu de vibrations).

Après la pose

Il convient de vérifier ces points :

- sens de circulation dans le mesureur de débit, montage du mesureur ; certains appareils doivent être placés horizontalement
- étanchéité après la mise en place du débitmètre et des doigts de gants
- raccordements électriques
- affectation des sondes de température sur l'aller et le retour
- fonctionnement satisfaisant des instruments
- paramétrage du calculateur pour que le coefficient K corresponde à la position du mesureur de débit, pour prendre en compte la température sur le départ ou le retour
- remplissage égal des deux doigts de gant par une huile conductrice thermique. Une différence de remplissage peut provoquer un écart de mesure permanent entre les deux sondes qui décale la mesure de l'énergie

11.5. • Maintenance

Pour les compteurs destinés à facturer l'énergie, les interventions d'entretien et d'étalonnage revêtent une importance particulière. L'arrêté du 3 septembre 2010 relatif aux compteurs d'énergie thermique décrit des conditions d'« usage réglementé » qui font appel à un tiers, le « réparateur ». Les vérifications, réparations et étalonnages sont consignés dans un carnet métrologique.

Pour les autres applications, une vérification annuelle du compteur permet de s'assurer de son bon fonctionnement, ces opérations de maintenance sont recommandées :

- inspecter les câblages, les connecteurs, la fixation des éléments
- nettoyer le filtre sur l'eau en amont du mesureur de débit, plus particulièrement pour une installation récente ou après une intervention sur le circuit hydraulique
- vérifier l'état des piles (et les remplacer si nécessaire) ou le bon état de charge de l'accumulateur

Pour conserver les qualités métrologiques, il est conseillé de vérifier que l'écart de mesure entre les deux sondes reste négligeable. Il faut pour cela les placer à la même température, dans un vase rempli de liquide isolé thermiquement ou mieux dans un second doigt de gant proche et lire la mesure qui doit rester nulle. Pour les circuits qui présentent des faibles différences de températures, l'écart peut être compensé en suivant les indications du fabricant ou par calcul à partir des données enregistrées.

Il convient aussi de vérifier que les deux doigts de gant où sont placées les sondes sont remplis au même niveau de la même huile conductrice. Les perturbations thermiques doivent rester identiques, si un des doigts de gant n'est pas rempli, la température mesurée s'approche de celle de l'ambiance.



En cas de défaillance de l'une des sondes de température, il faut changer les deux sondes car elles sont appariées.



TEMPÉRATURE ET HUMIDITÉ D'AIR EN CONDUIT

12



12.1. • Applications

Les mesures de température et d'humidité relative en conduits aéraulique sont fréquentes en génie climatique. Elles sont utilisées pour ces différents usages :

- régulation des centrales de traitement de l'air (batteries, humidificateur, ventilateur)
- régulation des terminaux de chauffage et de climatisation
- programmation centrale des installations de chauffage et de climatisation aérauliques
- optimisation des centrales et de la distribution
- surveillance des installations aérauliques
- protection des risques de gel
- supervision des fonctionnements, historique, tableau de bord
- information des usagers des conditions de confort
- suivi des consommations des installations aérauliques en fonction des conditions d'utilisation

12.2. • Choix du capteur de température

Il existe plusieurs technologies de capteurs adaptées pour la mesure de température d'air en conduit :

- résistances métalliques, généralement en platine ou en nickel (Pt100, Ni1000 par exemple), dont la résistance ohmique augmente avec la température. Des indications pour raccorder ces capteurs se trouvent au chapitre 5.2 (cf. 5.2)

- thermistances, en matériaux semi-conducteurs dont la résistance varie également avec la température, selon un coefficient négatif (CTN) ou positif (CTP). Leur résistance est plus élevée que celle des résistances métalliques

Les résistances métalliques font l'objet de standards, ce qui n'est pas le cas des thermistances qui ne sont pas interchangeables.

Les capteurs de température en conduit sont, selon les cas :

- des sondes de mesure ponctuelle, dont l'élément sensible est localisé à l'extrémité d'un plongeur
- des sondes de mesure moyenne, composées d'un élément sensible sous forme d'un capillaire déroulé dans le conduit. Elles sont notamment utilisées pour la protection contre le gel

NOTE

Les sondes de température moyenne sont conseillées pour la meilleure représentativité de la mesure (cf. 12.4).



▲ Figure 42 : Sonde de mesure de température ponctuelle en place sur un conduit aéraulique

Les principaux critères pour choisir une sonde de température d'air :

- plage utile : de -20 à $+50$ °C
- erreur tolérable : de $\pm 0,2$ à $\pm 0,5$ K recommandée en fonction des usages
- fidélité : la stabilité dans le temps de la précision est une qualité importante. Les capteurs à résistance métallique présentent la meilleure fidélité
- temps de réponse : il convient de choisir un temps de réponse relativement élevé pour ne pas prendre en compte des variations rapides, sans signification



- longueur : l'extrémité de la sonde, où se situe l'élément sensible, doit être positionnée au milieu du conduit aéraulique Certaines sondes sont munies d'un dispositif de fixation réglable
- indice de protection du boîtier : IP 30 suffit pour une installation intérieure

L'information délivrée par ces capteurs est transmise par un signal analogique de type 0-10 V, 4-20 mA ou par un réseau de communication. Les capteurs à résistance métallique ou les thermistances, dites passives, peuvent être directement raccordées sur les automates adaptés.

Le raccordement des capteurs passifs nécessite une attention particulière (montage 2, 3 ou 4 fils) (Figure 15) car la résistance en ligne des câbles de raccordement peut perturber la mesure. On préférera un raccordement en 3 fils pour les capteurs Pt100. En revanche, un raccordement en 2 fils est généralement suffisant pour des capteurs Pt1000. Le montage en 4 fils est rare en génie climatique.

12.3. • Choix d'un capteur d'humidité

La mesure d'humidité relative est basée sur la variation des propriétés électriques d'un matériau en fonction de l'humidité. On utilise le plus souvent des capteurs capacitifs sur un polymère.

Pour la mesure en conduit d'air, l'élément sensible se trouve à l'extrémité d'une canne, sous une grille. La présence d'un filtre en métal fritté peut s'avérer nécessaire sur des conduits susceptibles de contenir des poussières.

Ces capteurs sont souvent combinés avec des capteurs de température.

Les principaux critères pour choisir une sonde d'humidité :

- plage utile : de 20 à 90%
- erreur tolérable : $\pm 3\%$ d'humidité relative, mais peut atteindre 5 % aux extrémités de la plage de mesure
- fidélité : la dérive peut dépasser 1 % d'humidité relative sur une année
- temps de réponse : de quelques dizaines de secondes
- indice de protection du boîtier : IP 30 suffit pour une installation intérieure

La sortie de ces capteurs est un signal analogique, de type 0-10 V, 4-20 mA ou par un bus de communication.



12.4. • Emplacement

L'emplacement des sondes de température et d'humidité doit être choisi avec soin pour s'assurer de la représentativité des mesures.

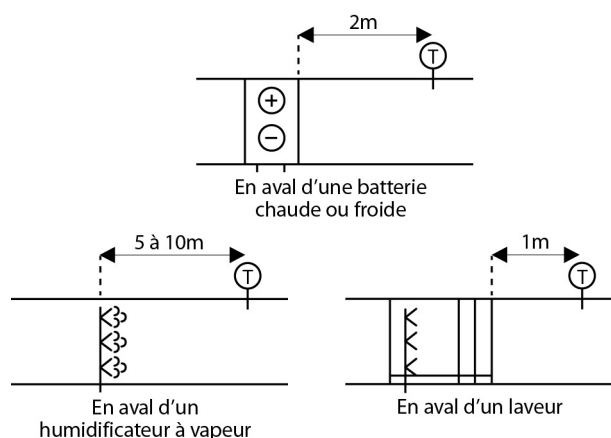
Les zones de non-circulation d'air doivent être évitées car elles ont tendance à concentrer l'humidité. A l'inverse, des vitesses d'air trop élevées sont également déconseillées.

Il convient d'éviter les zones de stratification importante, comme l'aval de points de mélange ou de batteries.

Des longueurs droites en amont de ces points sont à respecter pour une bonne homogénéité de température et d'humidité dans les conduits aérauliques.

Les distances indiquées en (Figure 43) pour le positionnement des sondes de température sont des valeurs théoriques qu'il est très rare de pouvoir respecter en pratique. Il est conseillé de recourir à des sondes de température moyenne pour réduire fortement ces distances ou de profiter du brassage d'air d'un ventilateur.

Les sondes d'humidité nécessitent des longueurs droites plus importantes pour éviter le contact avec des gouttes d'eau ou des poussières qui endommageraient l'élément sensible situé directement dans l'écoulement d'air. Des distances aval de 5 à 10 fois le diamètre équivalent sont recommandées, afin que l'air absorbe les gouttelettes en suspension.



▲ Figure 43 : Longueurs droites à respecter pour positionner les sondes de mesure de température ponctuelle

12.5. • Pose

Le montage des sondes de mesure de température et d'humidité en conduit nécessite le respect de quelques prescriptions pour s'assurer de la bonne représentativité des mesures (Figure 44).

L'extrémité des **sondes à plongeur** doivent être placée au centre de la conduite.



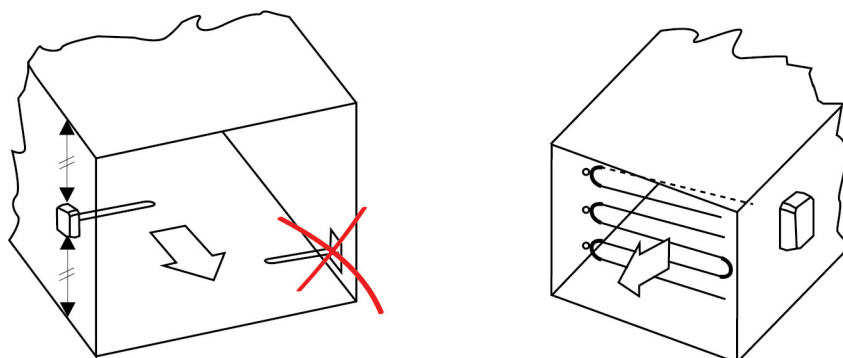
Pour les **sondes de mesure de température moyenne**, le capillaire doit être déployé dans toute la section du conduit, en décrivant un serpentin courant d'un côté à l'autre et en couvrant toute la hauteur.

Il ne doit pas être cintré excessivement mais requière un rayon de courbure minimum (50 mm).

Le câble doit être entièrement déroulé dans le conduit pour ne pas être influencé par la température à l'extérieur.

Le passage du capillaire à travers le conduit doit être muni d'un manchon de protection.

Il convient de placer les sondes d'humidité de telle sorte que le boîtier de raccordement ne se trouve pas sous le conduit pour ne pas exposer l'élément sensible à la condensation.



▲ Figure 44 : Emplacement des sondes de température et d'humidité



La pose des sondes sur des conduits d'air ne doit pas dégrader leur étanchéité. Cette exigence est particulièrement importante dans les bâtiments performants. Un test d'étanchéité à l'air des conduits aérauliques est décrit dans la RT 2012.

Il peut être nécessaire de placer des bouchons d'étanchéité, comme ceux qui assurent l'étanchéité entre les câbles et les fourreaux des installations électriques.

12.6. • Maintenance

Un entretien périodique annuel des sondes de température et d'humidité doit être prévu.

Il comprend le dépoussiérage de l'élément sensible à l'aide d'un pinceau doux lorsque celui-ci est soumis à la poussière. Le nettoyage, voire le remplacement, du filtre sont aussi à prévoir.

Une vérification de contrôle de l'information délivrée par le capteur de température par rapport à un instrument de référence est nécessaire.

Pour permettre ce contrôle, il est important de pré-équiper les installations avec une prise de mesure proche pour introduire le capteur de référence.

Un étalonnage du capteur est requis tous les 1 ou 2 ans selon les recommandations du fabricant et l'application considérée (précision requise).

La durée de vie d'un capteur d'humidité relative à variation de capacité est estimée à une dizaine d'années. Certains modèles nécessitent le remplacement de l'élément sensible seul alors que d'autres imposent le changement du capteur.

Pour remplacer une sonde utilisée pour la régulation, il est important de vérifier l'interchangeabilité du capteur vis-à-vis du régulateur. Après un changement de la sonde, il peut être nécessaire d'ajuster les paramètres de régulation.



13

PRESSION D'AIR



13.1. • Applications

Plusieurs applications en génie climatique font appel à des mesures de pression d'air :

- régulation des débits dans une installation aéraulique (pilotage des variations de vitesse des ventilateurs), voir aussi le chapitre 14 (cf. 14)
- surveillance des débits dans une installation aéraulique (détection de panne)
- surveillance de l'encrassement de filtre (alarme)
- surveillance des pressions dans une installation aéraulique pour des locaux à pollution spécifique ou des locaux de santé
- suivi du fonctionnement d'une installation aéraulique

13.2. • Choix

Les capteurs de pression relative ou de pression différentielle sont le plus couramment basés sur la déformation d'une membrane sous l'effet des pressions en présence. Ce déplacement est converti en un signal électrique.

Les capteurs de pression mesurent la pression relative dans le conduit.

Les capteurs de pression différentielle comportent deux prises de pression. Elles sont placées en amont et aval d'une batterie, d'un filtre ou d'un ventilateur. Ces mesures permettent de déterminer une perte de charge ou la pression disponible du ventilateur, voire d'estimer le débit d'air (proportionnel à la racine carrée de la différence de pression).



Les principaux critères pour choisir un capteur de pression :

- plage utile : le choix de la plage de pression immédiatement supérieure est important pour la précision
- erreur tolérable : de l'ordre de 2 % de la valeur maximale de pression, ou plus

Pour les capteurs de pression différentielle, plusieurs gammes sont généralement proposées : 0-3, 0-5, 0-10 ou 0-50 mbar. Dans certains cas, une mesure préalable de la différence de pression permet de choisir le capteur adapté.

Les capteurs délivrent un signal analogique de type 0-10 V ou 4-20 mA.

13.3. • Emplacement et pose

La mesure de la pression d'air dans un conduit aéraulique consiste à mesurer une pression statique. Il faut s'affranchir des effets de la pression dynamique en éloignant le point de mesure des zones de turbulence, donc des singularités : coudes, rétrécissements, points de mélange.

Le capteur ne doit pas être soumis à la condensation, il est préférable de le placer en partie haute. En cas de risque, on pourra mettre en place des tubes inclinés équipés d'un dispositif de purge.

Pour ne pas dégrader l'étanchéité des réseaux aérauliques et garantir la précision de mesure, il faut utiliser des embouts spéciaux pour les prises de pression. Il convient de se référer au matériel préconisé par le fabricant.

Le respect de l'orientation de la membrane est essentiel pour la précision de mesure. Il convient de se référer à la notice de montage du fabricant.

Le capteur ne doit pas être soumis aux vibrations (attention au ventilateur notamment).

Les prises de pression des capteurs de pression différentielle ne sont pas interchangeables. Elles sont repérées, l'une est à raccorder au niveau de pression le plus faible, l'autre au niveau de pression le plus élevé.

Il est préférable que les deux tubes de raccordement en matière plastique souple (tube « rislan ») présentent des longueurs identiques et soient de bonne tenue dans le temps.



13.4. • Maintenance

Un entretien annuel des capteurs de pression est recommandé.

Il consiste à vérifier que les tubes de raccordement ne sont ni endommagés ni colmatés.

Les raccords doivent également être examinés pour contrôler leur étanchéité.

Un contrôle simple permet également de vérifier les mesures. Il s'agit de déconnecter les tubes des raccords et de contrôler que la pression différentielle en un même point est nulle. L'installation de téés équipés de robinets sur les prises de pression peut simplifier cette opération.



14

VITESSE D'AIR



14.1. • Applications

Les mesures de vitesse d'air sont peu courantes dans le domaine du génie climatique, cependant quelques applications peuvent nécessiter ces sondes :

- régulation des ventilateurs sur des installations à débit variable
- régulation batteries et des humidificateurs en fonction du débit
- surveillance des débits dans une installation aéraulique (les débits sont déterminés à partir de la vitesse)

14.2. • Choix

La mesure de la vitesse d'air en conduits est basée sur le principe du fil chaud. La puissance nécessaire au maintien en température d'un fil chauffé dépend de la vitesse de l'air qui le refroidit.

A noter le développement de sondes à « film chaud » moins fragiles et moins sensibles à l'empoussièremment.

Les sondes de vitesse d'air se présentent sous la forme d'une canne protectrice ouverte à l'extrémité. Le fil chaud est ainsi directement en contact avec l'écoulement d'air.

Les principaux critères pour choisir une sonde de vitesse d'air adaptée :

- plage utile : de 0 à 10 m/s est généralement suffisant en génie climatique
- erreur tolérable : de l'ordre de 5 % de la vitesse mesurée
- temps de réponse : de l'ordre de quelques secondes

Ces sondes délivrent un signal analogique de type 0-10 V ou 4-20 mA.



Il existe également des dispositifs de mesure de vitesse qui reposent sur la mesure de la pression dynamique (principe du tube de pitot) en plusieurs points répartis sur la section du conduit. Ils se présentent sous la forme de « croix » de mesure (Figure 45). Ces dispositifs sont intégrés au conduit. Ils sont destinés par exemple à la régulation des systèmes à débit variable.



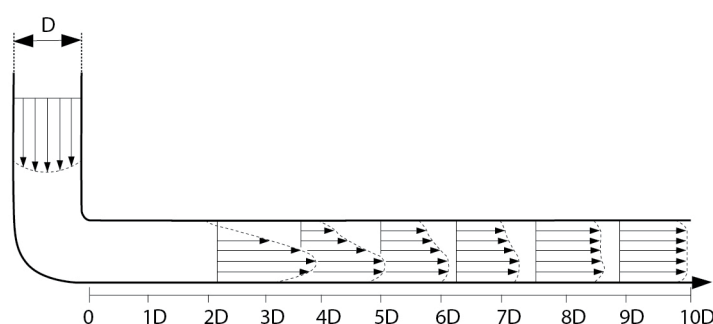
▲ Figure 45 : Mesure de vitesse par mesure de la pression dynamique en plusieurs points du conduit

14.3. • Emplacement et pose

Pour s'assurer de la représentativité des mesures de vitesse d'air certaines prescriptions sont à respecter.

Il convient de choisir un emplacement où le flux d'air est le plus stable possible en s'éloignant des points de mélange, des ventilateurs et des coudes. Une succession de coudes qui ne se trouvent pas dans le même plan provoque une giration du flux, fortement préjudiciable aux mesures.

Comme illustré en (Figure 46), une longueur droite suffisante après un coude permet de stabiliser l'écoulement.



▲ Figure 46 : Après un coude, le champ des vitesses est perturbé

En pratique, il peut s'avérer difficile de respecter ces longueurs droites.

S'il existe un convergent, le flux en aval est stabilisé et ces longueurs peuvent être réduites. Il peut être nécessaire de placer un stabilisateur d'écoulement comme une grille qui permet de mieux maîtriser le profil des vitesses.

Une exploration des vitesses dans le plan peut permettre de déterminer l'emplacement de la sonde pour mesurer une vitesse représentative du débit moyen.

A défaut, le capteur de la sonde à fil chaud est placé au centre de l'écoulement, orienté dans le sens de l'écoulement.

La pose des sondes sur les conduits d'air ne doit pas dégrader leur étanchéité.

14.4. • Maintenance

Un entretien annuel des sondes de vitesse est recommandé. Il comprend la vérification de l'étanchéité des raccords.

Une mesure par un tube de Pitot peut permettre de vérifier la validité de la mesure.

Des orifices en attente dans le conduit aéraulique servent à faciliter l'insertion temporaire d'une sonde de mesure. Ils doivent être colmatés afin de maintenir l'étanchéité des conduits.



TEMPÉRATURE DE FUMÉE

15



15.1. • Applications

La température de fumée est le principal indicateur du rendement de combustion d'une chaudière à combustible. Sa mesure en continu est utilisée en génie climatique pour ces différents usages :

- surveillance des niveaux de température de fumée (température maximale, température de point de rosée...)
- surveillance et supervision du rendement du générateur à combustible
- vérification de la condensation effective pour une chaudière à condensation
- supervision du bon fonctionnement du générateur à combustible. Une température élevée peut révéler un encrassement de l'échangeur
- suivi des consommations des installations de génie climatique en relation avec le rendement du générateur

15.2. • Choix

Le haut niveau de température des fumées requiert une sonde de température spécifique. Le revêtement du chemisage doit effectivement être résistant aux températures élevées. La température de fumée peut par exemple monter ponctuellement jusqu'à plus de 1000°C sur des chaudières biomasses. De plus, des acides sulfuriques ou autres substances agressives peuvent se former dans les conduits d'évacuation des produits de combustion des chaudières à condensation. Le revêtement doit donc être composé d'un alliage spécifiquement résistant.



Ces sondes intègrent généralement un capteur à résistance métallique en platine.

L'élément sensible est situé à l'extrémité d'une canne protectrice. On parle aussi de sonde pyrométrique.

Les principaux critères pour choisir une sonde de température de fumée :

- température maximale admissible : 400°C est suffisant pour les combustibles gaz et fioul. Il faut prévoir des sondes capables de supporter des températures ponctuelles de l'ordre de 1000°C pour des chaudières à combustibles solides
- erreur tolérable : ± 1 K généralement suffisant pour des usages de surveillance et de supervision

L'information délivrée par ces sondes est transmise par un signal analogique de type 0-10 V ou 4-20 mA. Les sondes à résistance métallique, dites passives, peuvent être directement raccordées sur les automates adaptés.

Le raccordement des sondes passives nécessite une attention particulière (montage 2, 3 ou 4 fils) (Figure 15) car la résistance en ligne des câbles de raccordement peut perturber la mesure.

15.3. • Emplacement et pose

L'emplacement de la sonde sur le conduit d'évacuation des produits de combustion doit être choisi pour s'assurer de la représentativité de la mesure, tout en étant assez proche de la chaudière pour que les fumées ne soient pas refroidies. Il est généralement conseillé d'effectuer la mesure à une distance de 2 à 3 fois le diamètre du conduit (Figure 47).

Il convient de s'assurer de l'étanchéité du conduit en amont de la mesure afin de ne pas fausser la mesure par une amenée d'air parasite. En particulier, réaliser la mesure avant le modérateur de tirage.

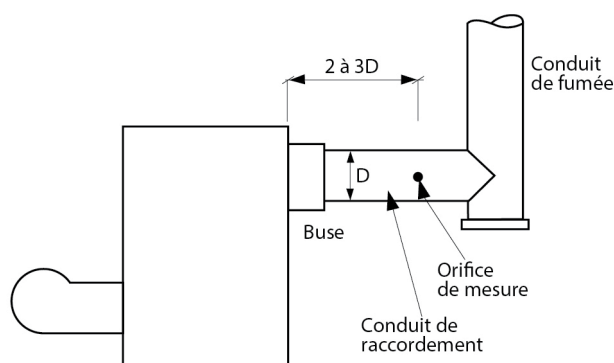
Il faut noter que les singularités telles que les coudes ou les rétrécissements sont bénéfiques, ils assurent le mélange des courants chauds et froids.

La sonde doit être placée perpendiculairement à l'axe du conduit.

L'extrémité de la sonde doit être positionnée au centre du conduit d'évacuation. Certaines sondes sont munies d'un dispositif de fixation réglable pour ajuster leur longueur.



L'étanchéité des conduits composites ou concentriques ne doit pas être dégradée par l'introduction de la sonde de température. La sonde doit nécessairement être insérée dans un raccord étanche spécifique.



▲ Figure 47 : Exemple d'implantation d'une sonde de température de fumée sur un conduit simple paroi en dépression

15.4. • Maintenance

Un entretien périodique annuel des sondes de température de fumée doit être prévu.

Il comprend la vérification de l'étanchéité du raccord sur le conduit de fumée.

Un contrôle de l'information délivrée par la sonde par une mesure de température de référence est conseillé.

Pour permettre ce contrôle, il est important de pré-équiper les installations avec une prise de mesure proche pour introduire la sonde ou le thermomètre de référence.

CONSOMMATION DE GAZ

16



16.1. • Applications

Le comptage du volume de gaz naturel consommé pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire, ainsi que pour la production de froid par absorption, est réalisé dans le cadre d'un suivi énergétique afin de surveiller les consommations pour porter remède à une dérive.

Il permet de :

- déterminer le rendement global des chaudières ou générateurs à partir de la quantité de gaz et de l'énergie fournie mesurée par un compteur d'énergie (cf. 11)
- suivre les consommations, en distinguant le chauffage et l'eau chaude sanitaire si les générateurs sont séparés

Il repose sur :

- le compteur général du distributeur de gaz pour la facturation
- des compteurs divisionnaires mis en place sur l'alimentation générale, par poste consommateur ou par générateur

16.2. • Choix

Les compteurs décrits ici sont utilisables sur tous types de gaz combustibles, en particulier le gaz naturel. On distingue plusieurs modèles de compteurs :

- compteurs de volume à membrane (ou à soufflet) : ce sont les plus rencontrés, ils sont prévus pour le comptage du gaz en moyenne pression
- compteurs de volume à pistons rotatifs et compteurs de vitesse à turbine : ils sont adaptés aux installations de



puissance importante, mais présentent une erreur de mesure importante à faible débit

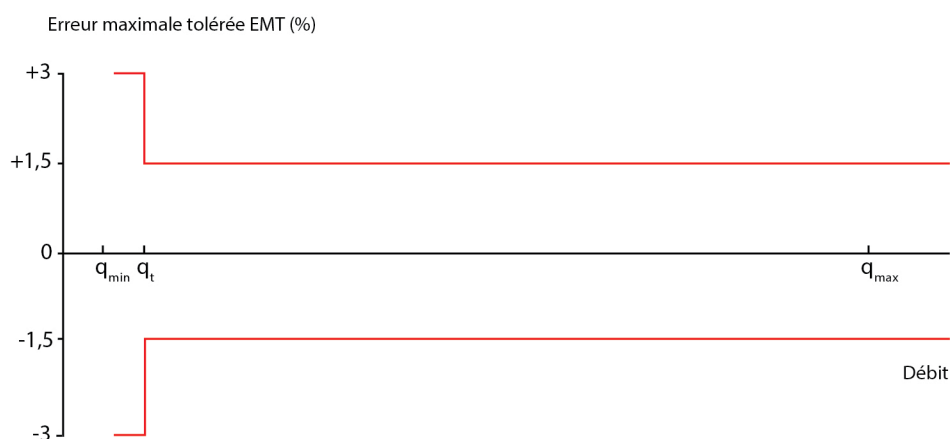
- compteurs à ultrasons intrusifs

Il existe également des débitmètres massiques thermiques, plus rares, qui reposent sur une mesure statique, sans pièce mobile dans le flux.

Les compteurs de gaz sont choisis d'après les caractéristiques suivantes :

- débit nominal
- diamètre des tubulures de raccordement du compteur proche du diamètre des canalisations
- pression du gaz : les valeurs supportées sont généralement de l'ordre de 0,5 bar, ce qui convient pour une alimentation à 300 mbar. Au-delà, il faut veiller à choisir un modèle particulier supportant 1 à 1,5 bar comme certains modèles en aluminium
- erreur tolérable : généralement inférieure à $\pm 1\%$ pour le débit nominal
- pertes de charge : elles sont de l'ordre du millibar et sont généralement négligeables

La Directive européenne MID 2004/22/CE fixe des exigences relatives aux Erreurs Maximales Tolérées (EMT). Pour un compteur de classe 1,5, elles sont de $\pm 3\%$ pour des débits compris entre le débit minimal q_{\min} et le débit transitoire q_t et de $\pm 1\%$ entre q_t et le débit maximal q_{\max} (Figure 48).



▲ Figure 48 : Exemple de courbe d'Erreur Maximale Tolérée pour un compteur gaz conforme à la directive MID, de classe 1,5 avec q_t égal à 10% de q_{\max}

Pour leur raccordement au système de gestion technique de bâtiment (GTB), les compteurs de gaz sont dotés d'un dispositif d'émission d'impulsions (Figure 49). Certains sont équipés à l'achat mais, dans la majorité des cas, il s'agit d'une option à prévoir à la commande. Il est parfois possible d'ajouter un dispositif a posteriori.

Le poids d'impulsions est, par exemple, de $0,01 \text{ m}^3$ pour un compteur individuel ou de $0,1 \text{ m}^3$ pour des puissances plus élevées.

Il existe aussi des compteurs en protocole M-Bus ou à transmission radio.



▲ Figure 49 : Compteur de gaz équipé d'un émetteur d'impulsions



Le distributeur de gaz doit être informé de la volonté d'équiper le compteur gaz de facturation à des fins de suivi. Dans certains cas, la sortie émission d'impulsions doit être activée par le distributeur.

En toute rigueur, une **correction** du volume de gaz mesuré doit être effectuée pour tenir compte des conditions de température et de pression du gaz traversant le compteur afin d'obtenir un volume en normo-mètres cubes à 1013 mbar et 0°C. Le pouvoir calorifique du gaz est en effet donné à ces conditions. Cette correction est rare pour les installations de moyenne puissance, l'écart induit étant réduit.

Certains compteurs intègrent ainsi un système de compensation mécanique de la température du gaz, au moyen d'un bilame métallique réagissant au changement de température et corrigeant la valeur mesurée.

Il existe également des appareils qui effectuent automatiquement la correction. Ils doivent pour cela être raccordés :

- au compteur de gaz (nécessairement muni d'un dispositif émetteur d'impulsions)
- à une sonde de température
- à une sonde de pression

Les sondes sont fournies avec le correcteur. La mesure de la température est généralement réalisée par des sondes à résistance métallique en platine de type Pt100 prévues pour être introduites dans un doigt de gant ou bien placées en applique sur la canalisation. Il est conseillé de placer les sondes à plongeur en aval des compteurs à turbine afin d'éviter toute perturbation de l'écoulement.



16.3. • Emplacement

Quelques éléments de choix de l'emplacement d'un compteur de gaz :

- des **longueurs droites** sont imposées en amont et en aval des compteurs de gaz à turbine afin de recréer le profil d'écoulement stabilisé pour lequel le compteur a été étalonné, pour ne pas provoquer d'erreurs de mesure supplémentaires. Les valeurs recommandées dépendent des fabricants, elles peuvent être de 6 fois le diamètre des canalisations
- les compteurs à pistons rotatifs et les compteurs à turbine peuvent s'installer sur des canalisations **horizontales ou verticales**
- les compteurs à membrane doivent être posés sur un **support** et ne doivent pas être suspendus par leurs tubulures

16.4. • Pose

La pose d'un compteur de gaz nécessite de prévoir certains accessoires :

- un filtre, placé en amont du compteur de gaz et dont le seuil de filtration doit être meilleur que 100 μm (sauf prescriptions plus sévères du fabricant)
- des vannes d'isolement, installées de part et d'autre du compteur afin de faciliter son démontage. Les compteurs peuvent également être montés en bipasse
- une manchette de remplacement, à utiliser en cas de démontage du compteur afin d'assurer le maintien de l'alimentation en gaz. Elle sert également pour nettoyer les canalisations au moment de la mise en service. Des manchettes de remplacement adaptées à chaque modèle de compteur sont disponibles auprès du fabricant

La procédure à respecter lors de la mise en œuvre d'un compteur de gaz comprend les étapes suivantes :

- l'opération doit commencer par un **nettoyage** des canalisations afin d'éliminer les particules solides susceptibles d'endommager le compteur
- au moment de la pose du compteur, il convient de respecter le **sens d'écoulement du gaz** dans le corps de l'appareil, généralement marqué par une flèche
- avant la première utilisation des compteurs à pistons rotatifs, il est impératif de les **remplir d'huile** jusqu'aux repères indiqués. Il est conseillé d'utiliser l'huile fournie ou recommandée par le fabricant. Cette opération n'est pas nécessaire sur les modèles auto-lubrifiés

- enfin, la mise en service des compteurs doit s'effectuer par une **montée en pression lente et progressive**

16.5. • Maintenance

L'état du filtre en amont du compteur doit être surveillé régulièrement, au moins une fois par an.

Les compteurs à membrane et à turbine ne nécessitent aucun entretien particulier. Par contre, les compteurs à pistons rotatifs doivent être vérifiés périodiquement ; l'huile doit être renouvelée tous les cinq ans environ.

Une vérification complète des compteurs, voire un étalonnage, est à prévoir tous les cinq ans environ.



CONSOMMATION DE FIOUL

17



17.1. • Applications

Le comptage du volume de fioul consommé pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire est réalisé dans le cadre d'un suivi énergétique afin de surveiller les consommations pour porter remède à une dérive.

Il permet de :

- déterminer le rendement global des chaudières ou générateurs à partir de la quantité de fioul et de l'énergie fournie mesurée par un compteur d'énergie (cf. 11)
- suivre les consommations, en distinguant le chauffage et l'eau chaude sanitaire si les générateurs sont séparés

17.2. • Choix

Plusieurs solutions sont applicables dont la précision et le coût diffèrent :

- estimer la consommation annuelle de la chaufferie d'après les quantités livrées. Cette information est utile mais sujette à caution. Les volumes dans la cuve en début et en fin d'année doivent être mesurés avec une précision suffisante. Les mesures des niveaux, qu'ils soient manuels ou par capteur, comme décrit au chapitre 19 (cf. 19), doivent tenir compte de la forme du réservoir pour connaître un volume. Ce calcul, parfois délicat, n'est pas toujours appliqué
- mesurer le temps de fonctionnement d'un brûleur d'un brûleur fioul à une ou deux allures fixes. Cette information est aussi sujette à caution. Il faut au préalable mesurer attentivement le débit du brûleur par la quantité de fioul effectivement

consommée grâce à un vase gradué ou par pesée, pendant une durée connue. La mesure doit être renouvelée périodiquement à cause de l'usure du gicleur ou après son remplacement

- compter le volume de combustible, c'est la solution la plus fiable. Elle consiste à poser un compteur de fioul entre la cuve et les générateurs ou bien par générateur selon les besoins

Des compteurs volumétriques à piston oscillant sont utilisés pour le fioul domestique, ils peuvent être à pistons rotatifs pour le fioul lourd.

Les principaux critères à considérer pour le choix d'un compteur de fioul sont les suivants :

- erreur tolérable : généralement égale à 1 % de la valeur mesurée, entre le débit minimal et maximal qui caractérise le compteur
- débit : c'est un critère de dimensionnement important. On considère plus particulièrement le débit permanent de l'installation, mais le débit de pointe et le débit le plus faible sont également à prendre en compte pour les brûleurs à plusieurs allures ou modulants
- température : un compteur de fioul lourd doit supporter une température supérieure à 70°C car il est placé en aval du réchauffeur, à proximité du brûleur
- pression : si le compteur est placé sur la ligne du gicleur, il doit pouvoir supporter des pressions élevées. Le niveau de pression en entrée de gicleur dépend du type de combustible, du débit et de la température. Les fabricants proposent des compteurs dont la pression nominale est égale à 16, 25 ou 30 bar

Les compteurs de fioul émettent des impulsions, comme les compteurs d'eau décrits au chapitre 9 (cf. 9). Ils peuvent pour être reliés à un transmetteur ou un système de GTB pour sommer ces impulsions et connaître les volumes. Des transmetteurs permettent d'émettre l'information du débit par une sortie analogique de type 4-20 mA.

17.3. • Emplacement

Ces règles générales s'appliquent à l'ensemble des compteurs de fioul :

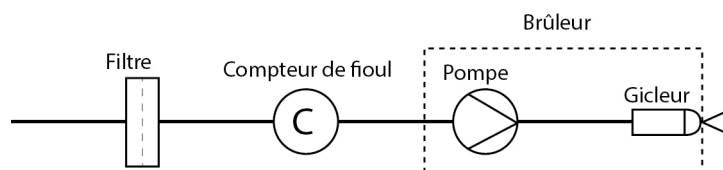
- l'emplacement choisi pour le compteur doit permettre un accès facile pour les opérations d'entretien
- il n'est pas nécessaire de prévoir de longueurs droites en amont ou en aval
- le montage est autorisé sur des canalisations verticales comme horizontales
- il convient de respecter le sens du débit dans le compteur, repéré par une flèche gravée sur le corps du compteur



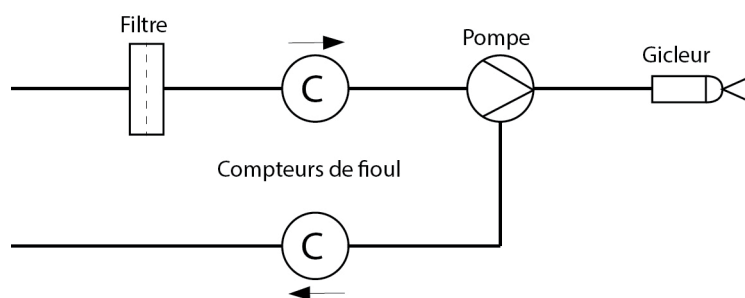
Le choix final de l'emplacement du compteur de fioul dépend de la configuration de l'installation.

- raccordement monotube : c'est la solution la plus simple, le compteur n'est pas soumis à des pressions élevées. Il est placé en amont de la pompe, en aval du filtre (Figure 50)
- raccordement bitube : une solution consiste à placer le compteur en aval de la pompe mais il est alors soumis à des pressions élevées et son raccordement est difficile. Un compteur placé en aval de la pompe n'est pas soumis à la pression mais ne comptabilise pas la consommation réelle à cause du retour à la cuve. Un second compteur est alors nécessaire pour déduire le volume retourné à la cuve (Figure 51)

La solution de la (Figure 51) présente des risques d'erreurs importants sur la consommation car les erreurs de mesure des deux compteurs se cumulent. Durant les périodes d'arrêt du brûleur, la consommation mesurée peut s'avérer non nulle à cause de ces erreurs. Pour éviter ce défaut, les données des deux compteurs ne peuvent être comptabilisées que durant les périodes de fonctionnement.



▲ Figure 50 : Schéma d'implantation d'un compteur fioul en raccordement monotube



▲ Figure 51 : Schéma d'implantation des compteurs fioul en raccordement bitube

17.4. • Pose et mise en service

La mise en service d'un compteur de fioul se fait en plusieurs étapes :

- rincer les conduites afin d'en éliminer les particules solides susceptibles d'endommager le compteur
- nettoyer le filtre
- mettre en place le compteur
- remplir lentement les conduites et purger soigneusement afin de ne pas laisser de bulles d'air, elles peuvent provoquer des erreurs de mesure et détériorer le compteur

La pose d'accessoires permet d'assurer des conditions de fonctionnement satisfaisantes :

- Un **filtre** peut être placé en amont. Le seuil de filtration recommandé est généralement inférieur à 100 μm , sous réserve de préconisations plus sévères. Dans le cas d'un comptage de fioul lourd, il convient de s'assurer que la température maximale admise par le filtre est compatible avec la température à laquelle est réchauffé le fioul

Par ailleurs, lorsque le compteur est placé en aval de la pompe du brûleur, il est préférable d'installer le filtre en amont de celle-ci à cause des pressions élevées qui règnent sur la ligne du gicleur ou bien de choisir un modèle dont la pression maximale admise est suffisante

- Le compteur doit être placé entre deux **vannes d'isolement** pour faciliter les interventions d'entretien. Il peut également être monté en **bipasse** afin de ne pas nécessiter l'arrêt de l'installation lors de ces opérations
- La mise en place d'une **soupape de décharge** constitue une précaution pour les compteurs placés sur la conduite de retour à la cuve. C'est le cas, par exemple, pour le comptage de la consommation d'un brûleur modulant. La soupape est installée en parallèle du compteur de façon à éviter la détérioration de la pompe en cas de blocage du compteur et d'augmentation excessive de la pression. Ce risque est propre aux compteurs de volume

17.5. • Maintenance

L'état d'encrassement du filtre monté en amont du compteur doit être vérifié régulièrement. La fréquence du contrôle dépend de la quantité de fioul véhiculée. Lorsque cela est nécessaire, ou au moins une fois par an, il convient de changer la cartouche filtrante ou de nettoyer le filtre au pétrole lampant avec un pinceau, puis à l'air comprimé. Les brosses en acier risqueraient de détériorer le filtre, les chiffons laineux peuvent laisser des fibres dans le filtre.

Les compteurs de volume ne requièrent pas d'entretien particulier.

La révision complète avec étalonnage des compteurs est conseillée tous les 5 à 10 ans.



CONSOMMATION DES COMBUSTIBLES SOLIDES

18



18.1. • Applications

La mesure de la consommation des combustibles solides, bois, charbon, est mise en place afin :

- d'analyser les consommations de la chaleur fournie, enregistrer les historiques, présenter des tableaux de bord, proposer des améliorations basées sur des mesures réelles
- de surveiller le rendement des générateurs par encrassement, vieillissement, dérèglages... si un compteur d'énergie fournie au circuit est installé (cf. 11)

18.2. • Choix

La mesure de la consommation dépend du combustible solide :

- sa géométrie et sa densité : granulés, bois déchiqueté...
- son mode d'approvisionnement : bande transporteuse, vis sans fin, écoulement gravitaire, chargement manuel...

Les dispositifs proposés par les fabricants sont variés. Ils sont généralement réservés aux installations de grande puissance pour les bâtiments industriels ou les réseaux qui alimentent plusieurs résidentiels ou tertiaires.

Citons les solutions permettant de mesurer la masse de combustible consommée :

- les dispositifs de mesure de niveau à ultrasons. Ces capteurs placés en haut de silo permettent de suivre le niveau de remplissage quel que soit le type de combustible

- les dispositifs de mesure par pesage de la bande transporteuse. Ces systèmes incorporent un ou plusieurs rouleaux avec des capteurs à jauge de contrainte, un capteur de vitesse et un intégrateur. Ces derniers peuvent ainsi délivrer le débit du combustible, la consommation ainsi que les informations de masse et de vitesse
- les dispositifs de mesure d'impacts sur une plaque pour les installations à alimentation gravitaire. Ces systèmes convertissent la composante horizontale de la force d'impact en un signal proportionnel au débit pour déterminer la consommation de combustible
- des dispositifs plus simples adaptés aux installations à alimentation par vis sans fin ou à godet comptabilisent le nombre de tour ou la durée de fonctionnement. Ces derniers s'appliquent à des combustibles calibrés, ils ne donnent qu'une valeur indicative de la consommation

Il faut pondérer la mesure de la masse de combustible solide par son pouvoir calorifique, il peut être très variable selon la nature, la préparation du combustible et son humidité.

Pour les installations de moyenne puissance, la mesure de la consommation de combustible consiste à suivre les fournitures des quantités livrées.

NOTE

Le suivi des consommations par les bons de livraison est d'autant plus précis que la fréquence de remplissage est élevée.

18.3. • Emplacement et pose

Les dispositifs présentés s'installent au niveau du silo ou sur l'acheminement du combustible au générateur.

Les prescriptions de pose sont données par les fabricants.

18.4. • Maintenance

Les combustibles solides émettant des poussières, le dépoussiérage est une opération à réaliser fréquemment sur tous dispositifs de comptage de combustible solide, et plus particulièrement sur ceux qui mettent en jeu des pièces en mouvement.

Une fréquence mensuelle est conseillée pour les mesureurs mécaniques.



19

NIVEAU DE STOCKAGE



19.1. • Applications

Les détecteurs et autres dispositifs de mesure de niveau de liquide sont couramment utilisés en génie climatique pour automatiser, surveiller et gérer des fournitures :

- commander des pompes de puisage ou de remplissage
- surveiller le niveau de stockage des cuves de fioul afin de demander l'approvisionnement, suivre les consommations
- surveiller le niveau de la nappe phréatique, pour une pompe à chaleur sur nappe en particulier
- surveiller le niveau des bâches d'alimentation en eau et commander l'alimentation
- surveiller le niveau des cuves de récupération d'eau pluviale

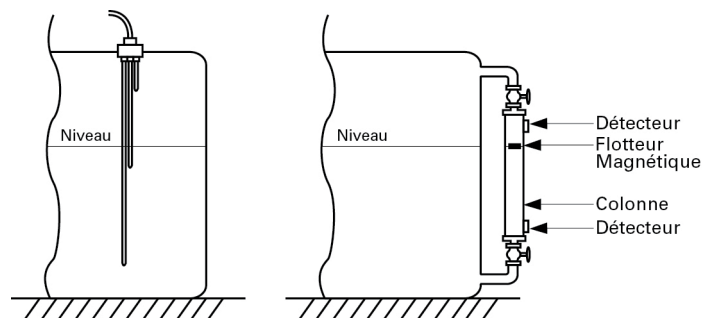
19.2. • Choix

Il faut distinguer les mesureurs de niveau qui fournissent une mesure en continu et les détecteurs qui indiquent le dépassement d'un seuil par le changement d'état d'un contact électrique sec.

Plusieurs technologies sont utilisées en génie climatique, pour la mesure ou la détection de niveau :

- les capteurs à électrodes mesurent le niveau de stockage à partir de la variation des propriétés électriques : résistance ou capacité d'une électrode plongée (Figure 52)
- les capteurs à flotteur qui signalent le déplacement d'un seuil ou la hauteur de liquide par le déplacement d'un potentiomètre ou d'un aimant pour en déduire le niveau mesuré. Ils peuvent être intérieurs ou extérieurs au réservoir (Figure 52)

- les capteurs hydrostatiques permettent de connaître le niveau de stockage par la différence de la pression entre l'air au-dessus du liquide et la position du capteur immergé



▲ Figure 52 : Exemples de détecteurs de niveau à électrodes (à gauche) et à flotteur extérieur au réservoir (à droite)

Les principaux critères pour choisir un mesureur ou un détecteur de niveau :

- l'information transmise : dépassement d'un seuil par un contact ou hauteur de liquide. Elle peut être transmise par un signal 0-10 V, 4-20 mA ou une donnée numérique par un bus de communication. Il existe des solutions par un protocole de téléphonie mobile (comme le GSM/GPRS) pour des nappes phréatiques ou des réservoirs éloignés
- la mise en place dans le réservoir ou sur un tube de niveau séparé. Cette disposition permet d'intervenir plus aisément sur les détecteurs ou mesureurs
- la plage de pression pour les capteurs hydrostatiques
- la durabilité, les éléments mécaniques en mouvement sont susceptibles de se bloquer
- le différentiel de commutation pour ne pas prendre en compte les mouvements sans signification à la surface de liquide
- la dimension, certains capteurs permettent d'adapter leurs dimensions à celles du réservoir
- la possibilité de commander directement le moteur d'une pompe, d'un circulateur ou d'une vanne par des seuils réglables intégrés au mesureur

19.3. • Emplacement et pose

Sur les cuves de fioul, les détecteurs et mesureurs de niveau s'installent généralement sur le trou d'homme placé en partie supérieure. Certains capteurs sont prévus pour une installation extérieure latérale, comme à la (Figure 52).

Il convient de se référer aux prescriptions des fabricants pour le montage, le raccordement et la mise en service de ces instruments. Les capteurs à électrodes peuvent nécessiter le réglage de la sensibilité en fonction des caractéristiques électriques du fluide.



19.4. • Maintenance

Une vérification annuelle du bon fonctionnement est particulièrement recommandée pour les dispositifs mécaniques en mouvement, comme les capteurs à flotteur.

Les détecteurs et mesureurs de niveau peuvent s'encrasser, un nettoyage annuel est à prévoir.

Les différentes technologies peuvent réclamer une maintenance préventive particulière. Ces indications se trouvent normalement dans les notices des fabricants.

PRÉSENCE ET UTILISATION

20



20.1. • Applications

La mesure de l'occupation des bâtiments, la détection de présence dans les locaux et de l'usage des équipements sont des informations utilisables à plusieurs fins. Plusieurs dispositifs permettent d'apporter différents types de services. Beaucoup d'entre eux servent à maîtriser les consommations et à améliorer l'efficacité énergétique.

Pour commander les marches-arrêts

La détection de présence permet de commander les équipements des différents services techniques en fonction de l'occupation effective du moment. Outre l'éclairage (cf. 7), les détecteurs de présence peuvent aussi commander les protections solaires mécanisées, la ventilation, le refroidissement de l'air soufflé.

La détection des ouvertures des fenêtres pour mettre à l'arrêt les équipements de chauffage ou de climatisation évite les gaspillages.

Pour adapter automatiquement les programmes horaires

La mise à l'arrêt des équipements en absence d'occupation est un moyen de prédilection pour minimiser les consommations d'énergie du chauffage ou du refroidissement, la remise en marche doit tenir compte de la période transitoire pour rétablir les températures ambiantes.

La programmation des périodes d'occupation selon la connaissance a priori des horaires peut finalement différer beaucoup de la réalité, les durées des fonctionnements sont étendues pour ne pas risquer d'insatisfactions, l'introduction de ces programmes est fastidieuse.

A partir des informations émises par des détecteurs de présence, un traitement permet de prédire les présences d'occupation par local ou par zone, dans les jours et les semaines à venir, avec une bonne probabilité.



Pour surveiller le bon état de santé des occupants

La surveillance de l'activité des personnes âgées ou en état de santé précaire, pour le maintien à domicile, peut consister à mettre en place des détecteurs de présence ou de mouvement.

Pour protéger contre l'effraction

Les détecteurs utilisés pour cet usage doivent être conformes aux règles des assureurs.

Pour suivre les consommations

Les mesures des consommations d'énergie ou d'eau doivent être rapprochées de leurs usages effectifs. Pour beaucoup de bâtiments du secteur tertiaire, l'occupation en personnes-jours ou en surfaces réellement occupées donnent une mesure significative des usages.

Les données des détecteurs d'occupation permettent de calculer des ratios afin de suivre l'efficacité énergétique, comparer des consommations énergétiques à des engagements contractuels, sur des bases objectives. Ces ratios permettent aussi d'identifier l'effet d'une amélioration énergétique en appliquant un protocole tel que PIMVP (cf. 1) tenant compte du paramètre occupation.

Pour suivre les utilisations des équipements et inciter aux usages économes

L'enregistrement des actions de commande de la part des usagers ou du service technique sur les équipements (mises en marche, réglages des points de consigne, adaptation des programmes horaires...) peut permettre de caractériser des comportements. Ils peuvent être suivis pour identifier les effets d'une incitation pécuniaire ou d'une motivation par la diffusion d'informations susceptibles d'inciter à un comportement économe.

20.2. • Détecteurs de présence et d'utilisation

Il existe plusieurs solutions pour détecter la présence ou compter les usagers. Il peut s'agir de placer des détecteurs spécifiques ou encore de reconnaître la présence par les usages d'autres appareils dans les locaux.

Détecteurs d'ouverture

Des contacts de feuillure sont placés sur les fenêtres pour détecter une intrusion, protéger contre l'effraction. Ils servent aussi à empêcher le fonctionnement des équipements de chauffage ou de refroidissement des locaux. Aux moments des ouvertures, lorsque le régulateur de

température ambiante augmente la fourniture de chaud ou de froid, le contact prend alors la priorité pour interrompre l'émission.

Durant la période de chauffage, les contacts de feuillure permettent de détecter l'ouverture d'une fenêtre ou d'une porte extérieure par la chute de la température du capteur qui se trouve dans le local pour la régulation. En cas de baisse trop importante de la température ambiante, le régulateur conserve une température minimale pour protéger contre le gel.

Détecteurs de présence

Les détecteurs de présence utilisables pour les diverses applications décrites ci-dessus sont identiques à ceux qui sont utilisés pour commander l'éclairage (cf. 7).

Des fabricants d'équipements pour la ventilation ou la climatisation proposent de tels capteurs pour commander le ventilateur de VMC ou la position des bouches de soufflage.

La détection de présence d'usagers peut aussi consister à mesurer le taux de CO₂ dans l'ambiance ou l'air extrait (cf. 6). La mesure de ce taux est indicative du nombre d'occupants.

Les détecteurs d'intrusion peuvent aussi, sous la condition de ne pas dégrader leur vigilance pour la sécurité, servir à détecter des présences lorsque le système de sécurité intrusion n'est pas utilisé, durant des heures ouvrables.

Des détecteurs de présence basés sur la mesure du son ou du bruit sont utilisables dans certains locaux.

Détection de présence par les usages des équipements

Pour connaître la présence d'usagers, il peut suffire de détecter leurs actions sur des équipements capables de transmettre cette information. Par exemple :

- en résidentiel : le passage de l'eau au compteur, la consommation d'électricité pour l'éclairage, l'ouverture de la porte du réfrigérateur sont significatifs d'une présence dans l'habitat
- en hôtels, le fichier informatique des clients occupants, l'ouverture des portes des chambres, le dépôt de la clé, sont aussi utilisables pour piloter les équipements énergétiques des chambres
- dans un bureau, l'état d'activité des ordinateurs personnels permet de connaître la présence ou même un nombre d'occupants

La commande manuelle de l'éclairage des locaux aveugles peut être utilisée pour commander la ventilation.

De telles fonctionnalités se mettent aisément en place si les équipements sont reliés à des réseaux de transmission d'information.



Compteurs du nombre d'usagers

Le nombre de personnes qui traverse un accès peut être compté à partir d'un faisceau lumineux réfléchi. L'émetteur et le récepteur sont incorporés dans un même boîtier, le faisceau est coupé par une présence.

Des capteurs de mouvement sont aussi utilisés pour compter un nombre d'usagers en détectant les sens de déplacement pour compter et décompter les personnes qui entrent et qui sortent par un passage.

Les caisses des billetteries sont capables de compter aisément un nombre d'entrées, décompté par un tourniquet ou un détecteur de déplacement des personnes en sortie.

Il existe des appareils qui traitent l'image vidéo des déplacements de personnes dans un lieu de circulation pour identifier les trajets des usagers. Ils permettent de compter les personnes en circulation, leurs sens de déplacement, les entrées et sorties des locaux.

Tous ces exemples montrent qu'il existe plusieurs possibilités pour mesurer les usages des bâtiments. Elles sont très profitables à l'efficacité énergétique : piloter les équipements au plus près des besoins, suivre les consommations en connaissance de cause.

RÈGLEMENTS THERMIQUES POUR LES MESURES

21



Les clauses réglementaires relatives aux dispositifs de mesure ou de comptage spécifiées dans les RT (Règlements Thermiques) sont récapitulées ici par thèmes :

- suivi des consommations
- régulation des systèmes de chauffage et de refroidissement
- pilotage de l'éclairage

Les références des textes cités sont rassemblées en fin de ce chapitre.

Ces règlements distinguent la construction neuve ou la rénovation et l'usage du bâtiment : habitation ou non.

- **en construction neuve**, les dispositions suivantes sont applicables à compter du 1^{er} janvier 2013, pour tous les bâtiments d'habitation et tertiaires
- **en rénovation**, ces dispositions concernent tous les bâtiments résidentiels et tertiaires avec une distinction selon l'importance des travaux entrepris. La RT « globale » concerne les rénovations très lourdes de bâtiments de plus de 1000 m² de Surface Hors Œuvre Nette (SHON), achevés après 1948. Pour tous les autres cas de rénovation, la RT « élément par élément » définit une performance minimale pour l'élément remplacé ou installé.



21.1. • Suivi des consommations

21.1.1. • Construction neuve, bâtiment d'habitation

Extraits de la RT 2012 [R4]

Article 23

Les maisons [...] ainsi que les bâtiments [...] collectifs d'habitation sont équipés de systèmes permettant de mesurer ou d'estimer la consommation d'énergie de chaque logement, excepté pour les consommations des systèmes individuels au bois en maison individuelle ou accolée.

En cas de production collective d'énergie, on entend par énergie consommée par le logement la part de la consommation totale d'énergie dédiée à ce logement selon une clé de répartition à définir par le maître d'ouvrage lors de la réalisation du bâtiment.

Ces systèmes permettent d'informer les occupants, a minima mensuellement, de leur consommation d'énergie.

Cette information est délivrée dans le volume habitable, par type d'énergie, a minima selon la répartition suivante :

- chauffage
- refroidissement
- production d'eau chaude sanitaire
- réseau prises électriques
- autres

Toutefois, dans le cas d'un maître d'ouvrage qui est également le futur propriétaire bailleur du bâtiment construit, notamment les maîtres d'ouvrage de logements locatifs sociaux, cette information peut être délivrée aux occupants, a minima mensuellement, par voie électronique ou postale et non pas directement dans le volume habitable.

Cette répartition peut être basée soit sur des données mesurées, soit sur des données estimées à partir d'un paramétrage préalablement défini.

21.1.2. • Construction neuve, bâtiment à usage autre que d'habitation

Extraits de la RT 2012 [R4]

Article 31

Les bâtiments [...] sont équipés de systèmes permettant de mesurer ou de calculer la consommation d'énergie :

- pour le chauffage : par tranche de 500 m² de SU_{RT} (Surface Utile RT) concernée ou par tableau électrique, ou par étage, ou par départ direct



- pour le refroidissement : par tranche de 500 m² de SU_{RT} concernée ou par tableau électrique, ou par étage, ou par départ direct
- pour la production d'eau chaude sanitaire
- pour l'éclairage : par tranche de 500 m² de SU_{RT} concernée ou par tableau électrique, ou par étage
- pour le réseau des prises de courant : par tranche de 500 m² SU_{RT} concernée ou par tableau électrique, ou par étage
- pour les centrales de ventilation : par centrale
- par départ direct de plus de 80 ampères

21.1.3. • Rénovation, bâtiment d'habitation

Extraits de la RT « globale » [R7]

Article 79

Pour les bâtiments [...] munis d'un système de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire collectif desservant les logements en distribution horizontale, un ou des dispositifs doivent permettre de suivre les consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire, éventuellement confondues, de chacun des logements.

21.1.4. • Rénovation, bâtiment à usage autre que d'habitation

Extraits de la RT « globale » [R7]

Article 80

[...] si la surface chauffée dépasse 400 m², un ou des dispositifs doivent permettre de suivre la durée de fonctionnement de chacune des centrales de ventilation de l'installation.

Article 81

[...] si la surface chauffée dépasse 400 m², un ou des dispositifs doivent permettre de suivre les consommations de chauffage, éventuellement confondues avec celles d'eau chaude sanitaire, si le générateur est commun, et de mesurer la température intérieure d'au moins un local par partie de réseau de distribution chaud.

Article 82

Si un bâtiment comporte des locaux ou ensemble de locaux destinés à recevoir plus de 40 lits ou destinés à servir plus de 200 repas par jour, un ou des dispositifs doivent permettre de suivre les consommations volumiques ou calorifiques d'eau chaude sanitaire des équipements centralisés

Article 83

[...] si la surface éclairée dépasse 1000 m², un ou des dispositifs doivent permettre de suivre les consommations d'éclairage, sauf dans



le cas où le réseau électrique n'est pas modifié et ne permet pas la mise en place du comptage.

Article 84

[...] si la surface refroidie dépasse 400 m², un ou des dispositifs doivent permettre de suivre les consommations de refroidissement, éventuellement confondues avec celles de chauffage, si le générateur est commun, et de mesurer la température intérieure d'au moins un local par partie de réseau de distribution de froid.

Extraits de la RT « élément par élément » [R8]

Article 35

Dans le cas de bâtiment [...] faisant l'objet d'un remplacement ou de l'installation d'un système de refroidissement pour une surface refroidie supérieure à 400 m², un ou des dispositifs doivent permettre de suivre les consommations de refroidissement et de mesurer la température intérieure d'au moins un local par partie de réseau de distribution de froid.

21.2. • Régulation des systèmes de chauffage et de refroidissement

21.2.1. • Construction neuve, bâtiment d'habitation

Extraits de la RT 2012 [R4]

Article 24

[...] une installation de chauffage comporte par local desservi un ou plusieurs dispositifs d'arrêt manuel et de réglage automatique en fonction de la température intérieure de ce local.

Toutefois, lorsque le chauffage est assuré par un plancher chauffant à eau chaude [...] ou par l'air insufflé ou par un appareil indépendant de chauffage à bois, ce dispositif peut être commun à des locaux d'une surface habitable totale maximum de 100 m².

Article 26

[...] une installation de refroidissement comporte, par local desservi, un ou plusieurs dispositifs d'arrêt manuel et de réglage automatique de la fourniture de froid en fonction de la température intérieure.

Toutefois :

- lorsque le froid est fourni par un système à débit d'air variable, ce dispositif peut être commun à des locaux d'une surface habitable totale maximale de 100 m² sous réserve que la régulation du débit soufflé total se fasse sans augmentation de la perte de charge

- lorsque le froid est fourni par un plancher rafraîchissant, ce dispositif peut être commun à des locaux d'une surface habitable totale maximale de 100 m²
- pour les systèmes de « ventilo-convecteurs deux tubes froid seul », l'obligation du premier alinéa est considérée comme satisfaite lorsque chaque ventilateur est asservi à la température intérieure et que la production et la distribution d'eau froide sont munies d'un dispositif permettant leur programmation
- pour les bâtiments ou parties de bâtiment rafraîchis par refroidissement de l'air neuf sans accroissement des débits traités au-delà du double des besoins d'hygiène, l'obligation du premier alinéa est considérée comme satisfaite si la fourniture de froid est, d'une part, régulée au moins en fonction de la température de reprise d'air et la température extérieure et, d'autre part, est interdite en période de chauffage

21.2.2. • Construction neuve, bâtiment à usage autre que d'habitation

Extraits de la RT 2012 [R4] [R2]

Article 22 [R4] – Article 22 [R2]

[...] une installation de chauffage comporte par local desservi un ou plusieurs dispositifs d'arrêt manuel et de réglage automatique en fonction de la température intérieure de ce local.

Toutefois, lorsque l'intégralité du chauffage est assurée par un plancher chauffant à eau chaude fonctionnant à basse température ou par l'air insufflé ou par un appareil indépendant de chauffage à bois, ce dispositif peut être commun à des locaux d'une SU_{RT} (Surface Utile RT) totale maximale de 100 m².

Article 44 [R4] – Article 32 [R2]

[...] une installation de refroidissement comporte, par local desservi, un ou plusieurs dispositifs d'arrêt manuel et de réglage automatique de la fourniture de froid en fonction de la température intérieure.

Toutefois :

- lorsque le froid est fourni par un système à débit d'air variable, ce dispositif peut être commun à des locaux d'une SU_{RT} totale maximale de 100 m² sous réserve que la régulation du débit soufflé total se fasse sans augmentation de la perte de charge
- lorsque le froid est fourni par un plancher rafraîchissant, ce dispositif peut être commun à des locaux d'une SU_{RT} totale maximale de 100 m²
- pour les systèmes de « ventilo-convecteurs deux tubes froid seul », l'obligation du premier alinéa est considérée comme

satisfaite lorsque chaque ventilateur est asservi à la température intérieure et que la production et la distribution d'eau froide sont munies d'un dispositif permettant leur programmation

21.2.3. • Rénovation, bâtiment d'habitation

Extraits de la RT « globale » [R7]

Article 58

1. Cas général. Sous réserve des dispositions de l'article 60, une nouvelle installation de chauffage doit comporter par local desservi un ou plusieurs dispositifs d'arrêt manuel et de réglage automatique en fonction de la température intérieure de ce local. Toutefois, lorsque le chauffage est assuré par un plancher chauffant à eau chaude [...], ce dispositif peut être commun à des locaux d'une surface totale maximale de 150 m². [...]

Article 59

Les dispositions du présent article s'appliquent lorsque les travaux prévoient le remplacement ou l'installation d'émetteurs à effet Joule, ou le remplacement ou l'installation du générateur de chaleur pour les autres systèmes de chauffage.

1. Cas des émetteurs à effet Joule. Sous réserve des dispositions de l'article 60, si le chauffage est assuré par des appareils électriques indépendants et si la surface chauffée à partir d'un seul point de livraison de l'énergie de chauffage de l'installation dépasse 400 m² et comprend plusieurs locaux, l'alimentation électrique de ces appareils doit être réglée automatiquement en fonction de la température extérieure. Un même dispositif peut desservir au plus une surface de 5 000 m². Toutefois, un tel dispositif n'est pas obligatoire si le chauffage est automatiquement arrêté en cas d'ouverture de l'un des ouvrants.

2. Cas des autres systèmes. Sous réserve des dispositions de l'article 60, si le chauffage est assuré par des émetteurs raccordés à une génération centrale de la chaleur desservant une surface de plus de 400 m² comprenant plusieurs locaux, il doit comporter, en plus des dispositifs prévus ci-dessus, un ou plusieurs dispositifs centraux de réglage automatique de la fourniture de chaleur, qui soit fonction au moins de la température extérieure. Un même dispositif peut desservir au plus une surface de 5 000 m². Cette exigence ne s'applique pas dans les bâtiments d'habitation si le réseau de distribution sert à la fois au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire décentralisée.

Article 60

Pour les nouvelles installations de chauffage mixte, les articles 58 et 59 ne s'appliquent pas au chauffage de base, qui doit comporter, quelle que soit la surface desservie, un ou plusieurs dispositifs de réglage automatique en fonction au moins de la température extérieure.



Dans le cas où, à partir d'une génération centrale, on alimente un équipement servant à la fois au chauffage et à l'eau chaude sanitaire, l'obligation décrite dans l'article 59-2 ne s'applique que si la surface desservie à partir de cet équipement est supérieure à 400 m² et comporte plusieurs locaux.

Article 77

En cas d'installation ou de remplacement du système de refroidissement, la nouvelle installation doit comporter par local desservi un ou plusieurs dispositifs d'arrêt manuel et de réglage automatique de la fourniture de froid en fonction de la température intérieure.

Toutefois :

- lorsque le froid est fourni par un système à débit d'air variable, ce dispositif peut être commun à des locaux d'une surface totale maximale de 100 m² sous réserve que la régulation du débit soufflé total se fasse sans augmentation de la perte de charge
- lorsque le froid est fourni par un plancher rafraîchissant, ce dispositif peut être commun à des locaux d'une surface totale maximale de 150 m²
- pour les systèmes de « ventilo-convecteurs deux tubes froid seul », l'obligation du premier alinéa est considérée comme satisfaite lorsque chaque ventilateur est asservi à la température intérieure et que la production et la distribution d'eau froide sont munies d'un dispositif permettant leur programmation
- pour les bâtiments résidentiels et d'hébergement rafraîchis par refroidissement de l'air neuf sans accroissement des débits traités au-delà du double des besoins d'hygiène, l'obligation du premier alinéa est considérée comme satisfaite si la fourniture de froid est, d'une part, régulée au moins en fonction de la température de reprise d'air et la température extérieure et, d'autre part, interdite en période de chauffage

21.3. • Pilotage de l'éclairage

21.3.1. • Construction neuve, bâtiment d'habitation

Extraits de la RT 2012 [R4]

Article 27

[...] circulations et parties communes intérieures verticales et horizontales [...]

Tout local comporte un dispositif automatique permettant, lorsque le local est inoccupé [...] soit l'abaissement [...] soit l'extinction des sources de lumière [...].



De plus, lorsque le local a accès à l'éclairage naturel, il intègre un dispositif permettant une extinction automatique du système d'éclairage dès que l'éclairage naturel est suffisant.

Un même dispositif dessert au plus :

- une surface habitable maximale de 100 m² et un seul niveau pour les circulations horizontales et parties communes intérieures
- trois niveaux pour les circulations verticales

Article 28

[...] les parcs de stationnement couverts et semi-couverts comportent [...] soit un dispositif permettant d'abaisser le niveau d'éclairage [...] soit un dispositif automatique permettant l'extinction des sources de lumière artificielle pendant les périodes d'inoccupation [...].

Un même dispositif ne dessert qu'un seul niveau et au plus une surface de 500 m².

21.3.2. • Construction neuve, bâtiment à usage autre que d'habitation

Extraits de la RT 2012 [R4] [R2]

Article 37 [R4] – Article 25 [R2]

[...] tout local est équipé d'un dispositif d'allumage et d'extinction de l'éclairage manuel, ou automatique en fonction de la présence.

Article 39 [R4] – Article 27 [R2]

[...] circulations et parties communes intérieures verticales et horizontales.

Tout local comporte un dispositif automatique permettant, lorsque le local est inoccupé, l'extinction des sources de lumière ou l'abaissement de l'éclairage [...].

De plus, lorsque le local a accès à l'éclairage naturel, il intègre un dispositif permettant une extinction automatique du système d'éclairage dès que l'éclairage naturel est suffisant.

Un même dispositif dessert au plus :

- une SU_{RT} (Surface Utile RT) maximale de 100 m² et un seul niveau pour les circulations horizontales et parties communes intérieures ;
- trois niveaux pour les circulations verticales.

21.3.3. • Rénovation, bâtiment à usage autre que d'habitation

Extraits de la RT « globale » [R7]

Article 68

Le présent chapitre s'applique [...] lorsque le système d'éclairage général fait l'objet de travaux de rénovation ou de remplacement.

Article 73

Lorsque l'éclairage naturel est suffisant, l'éclairage artificiel ne doit pas être mis en route automatiquement, notamment par une horloge ou un dispositif de détection de présence.

Extraits de la RT « élément par élément » [R8]

Article 39

Le présent chapitre s'applique aux bâtiments ou partie de bâtiment [...], de surface utile supérieure à 100 m², lorsque l'installation d'éclairage fait l'objet de travaux de remplacement ou d'installation.

Article 40

[...] Lorsque l'éclairage naturel est suffisant, l'éclairage artificiel ne doit pas être mis en route automatiquement, notamment par une horloge ou un dispositif de détection de présence.



22

TERMINOLOGIE



Appariement ou appairage

Action d'apparier (ou d'appairer) consistant à sélectionner deux capteurs pour minimiser la différence de mesure entre eux. Cette opération est essentielle pour les sondes de température d'un compteur d'énergie thermique. L'erreur de mesure entre les deux sondes à la même température doit être très réduite compte tenu des faibles différences de température à mesurer sur les installations de génie climatique.

Capteur

Dispositif autonome destiné à mesurer une grandeur physique au moyen d'un élément sensible dans un boîtier qui facilite sa mise en place et son raccordement pour transmettre l'information de la mesure. Synonyme : sonde ou mesureur.

Capteur actif

Capteur qui nécessite une source d'alimentation en énergie pour émettre l'information.

Capteur intelligent

Capteur communicant équipé d'un transmetteur pour le raccorder à un réseau de transmission numérique. Le transmetteur est doté de moyens de traitement et de mémorisation tels que : état de fonctionnement, conversion, linéarisation, correction des grandeurs perturbatrices, historiques des mesures ou des interventions (étalonnage, vérification). Cette liste de fonctions n'est pas limitative.

Capteur passif

Capteur qui ne nécessite pas d'alimentation en énergie. Exemple : capteur de température à résistance.

Compteur d'eau

Dispositif de mesure de la quantité (en volume ou en masse) débitée durant une période. Les compteurs couramment utilisés dans le bâtiment mesurent un débit en volume.

Compteur d'énergie thermique

Dispositif de mesure d'une puissance thermique, calorifique ou frigorifique, débitée durant une période. Il est composé d'un compteur d'eau et de deux sondes de température.

Compteur d'évènements

Dispositif de comptage d'évènements issus d'un détecteur. Exemple : compteur de mises en marches d'un équipement.

Compteur de temps

Dispositif de mesure de la durée d'un état issue d'un détecteur. Exemple : compteur de durées de fonctionnement.

Compteur divisionnaire

Compteur d'énergie, d'eau ou d'électricité qui mesure la consommation d'une partie du réseau. Les relevés des ces compteurs ne sont pas destinés à la facturation, comme l'est le compteur général, propriété du fournisseur.

Ces compteurs servent aux suivis et à la gestion des consommations.

S'ils sont utilisés pour individualiser des coûts, la somme des relevés est affectée à la fourniture mesurée au compteur général, le montant est réparti au prorata des relevés divisionnaires.

Synonyme : sous-compteur

Détecteur

Capteur permettant d'obtenir une information binaire significative d'un d'état fonctionnant en tout ou rien (exemple : fenêtre ouverte ou fermée) ou d'un évènement (exemple : passage d'un usager).

Élément sensible

Composant d'un capteur qui convertit la grandeur mesurée en une autre grandeur analogue électrique susceptible d'être transmise pour affichage ou traitement.

Erreur

Écart (en valeur relative ou absolue) entre la valeur donnée par l'instrument de mesure et la valeur vraie de la grandeur mesurée. L'erreur peut être systématique (justesse) ou aléatoire (fidélité, insensibilité aux influences). Elle dépend aussi de la sensibilité du dispositif, de sa résolution, de son temps de réponse.



Erreur Maximale Tolérée (EMT)

Dans des conditions spécifiées de fonctionnement et en l'absence de perturbation, l'Erreur Maximale Tolérée (EMT) correspond à l'erreur de mesure maximale pour laquelle l'instrument est certifié. La plage de l'EMT est généralement donnée par deux limites symétriques (\pm) autour de la mesure vraie.

Etalonnage

Ensemble des opérations établissant, dans les conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquée par un appareil de mesure et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisée par les étalons (extrait de la norme NF X 07-001).

Incertitude

Marge d'imprécision autour de la valeur de la grandeur mesurée dans laquelle se trouve la valeur exacte. Elle peut être absolue ou relative. Exemple : $\pm 0,5$ K ou $\pm 2\%$ de la valeur.

Mesure

Information émise par un capteur ou un compteur. L'information transmise peut être progressive (analogique) ou numérique (conforme à un code).

Plage de mesure ou étendue de mesure

Domaine d'utilisation, dans l'unité de la grandeur mesurée, pour lequel la précision de la mesure est assurée. Exemple d'un thermomètre, plage de mesure de -30°C à $+50^{\circ}\text{C}$.

Précision

Qualité d'un dispositif de mesure qui consiste à fournir une information proche de la valeur vraie de la grandeur mesurée. Cette qualité est en relation avec l'incertitude quantifiée par une plage de tolérance ou erreur probable.

Résolution

Plus petit écart de la grandeur mesurée que l'instrument de mesure peut déceler et qui fournit une variation de la grandeur de sortie.

Sensibilité

Rapport entre la variation du signal fourni par le dispositif de mesure (sortie) et la variation de la grandeur mesurée (entrée).

Exemple : un capteur de température à variation de résistance présente une sensibilité en Ω/K .

Une sensibilité élevée permet de déceler des petites variations de la grandeur mesurée.

Sonde

Voir capteur. Désigne souvent un capteur placé de façon intrusive.

Temps de réponse

Temps mis par un dispositif de mesure pour donner une mesure proche (dans une limite fixée) de la valeur finale après une variation brusque (en échelon) de la grandeur mesurée. Il permet de connaître l'aptitude d'un capteur à suivre les variations rapides de la grandeur.

Le temps de réponse à 63 % de la valeur finale est proche de la constante de temps, cette valeur est souvent donnée par le fabricant.

Transmetteur

Dispositif qui convertit le signal de l'élément sensible du capteur en un signal analogique ou numérique transmissible à distance.

Transmetteur intelligent : voir capteur intelligent





RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

23



- [B1] COSTIC, CAPTEURS ET COMPTEURS dans les bâtiments, PYC Edition, 1992

Ce guide pratique traite des mesures pour la gestion technique, l'imotique, la domotique et la télégestion. Il rassemble les informations utiles aux professionnels qui équipent les bâtiments : l'offre des produits et les précautions pour leur mise en place et leurs usages.

Il a été rédigé avec les soutiens de l'Ademe et de la FFB.

- [B2] Thierry Dupuis et Guy Delmas (GCCP), METROLOGIE EN GENIE CLIMATIQUE, Editions DUNOD, 2009

Dans cet ouvrage, les mesures des grandeurs physiques sont regroupées par thèmes. Il traite autant les moyens de mesure portatifs que les dispositifs placés à demeure sur les installations. Il complète utilement le présent guide pour en savoir plus sur les principes physiques qui sont mis en jeu dans les capteurs et les autres moyens de mesure.

- [B3] René Cyssau, MANUEL DE LA REGULATION, SEDIT Edition, 2006

Cet ouvrage préparé avec les industriels de l'ACR rassemble les connaissances utiles pour la régulation et l'automatisation des installations de génie climatique et des équipements techniques du bâtiment. Il comporte deux parties : bases et principe – composants et systèmes.

- [B4] Efficiency Valuation Organization (EVO) PROTOCOLE INTERNATIONAL DE MESURE ET DE VERIFICATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE (PIMVP), Concepts et options pour l'évaluation des économies d'énergie et d'eau, volume 1

Ce document est disponible sur le site de l'organisation EVO : www.evo-world.org

Plusieurs éditions sont disponibles, dans plusieurs langues. La dernière édition en français est datée de janvier 2012.

RÉFÉRENCES RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIVES

24



24.1. • Références réglementaires

- [R1] Décret du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions de bâtiments
- [R2] Arrêté du 28 décembre 2012 modifié relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments autres que ceux concernés par l'article 2 du décret du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions
- [R3] Arrêté du 4 janvier 2012 pris en application de l'article 4 du décret du 31 août 2010 relatif aux dispositifs de comptage sur les réseaux publics d'électricité
- [R4] Arrêté du 26 octobre 2010 modifié relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments
- [R5] Arrêté du 3 septembre 2010 relatif aux compteurs d'énergie thermique
- [R6] Décret du 31 août 2010 relatif aux dispositions de comptage sur les réseaux publics d'électricité en application du IV de l'article 4 de la loi n°2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité
- [R7] Arrêté du 13 juin 2008 relatif à la performance énergétique des bâtiments existants de surface supérieure à 1000 mètres carrés, lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants



- [R8] Arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants
- [R9] Arrêté du 6 mars 2007 relatif au contrôle des compteurs d'eau froide en service
- [R10] Arrêté du 28 avril 2006 fixant les modalités d'application du décret du 12 avril 2006 relatif à la mise sur le marché et à la mise en service de certains instruments de mesure
- [R11] Décret du 12 avril 2006 relatif à la mise sur le marché et à la mise en service de certains instruments de mesure
- [R12] Directive européenne MID 2004/22/CE du 31 mars 2004 sur les instruments de mesure
- [R13] Arrêté du 31 décembre 2001 modifié fixant les modalités d'application de certaines dispositions du décret du 3 mai 2001 relatif au contrôle des instruments de mesure
- [R14] Décret du 3 mai 2001 modifié relatif au contrôle des instruments de mesure

24.2. • Références normatives

- [N1] NF EN 15232 Performance énergétique des bâtiments – Impact de l'automatisation, de la régulation et de la gestion technique
- [N2] NF EN ISO 50001 Systèmes de management de l'énergie – Exigences et recommandations de mise en œuvre
- [N3] NF EN 15900 Services d'efficacité énergétique – Définitions et exigences
- [N4] NF EN 62053 (Parties 21 et 22) Equipement de comptage de l'électricité (c.a.)
- [N5] NF EN 50470 (Parties 1 à 3) Equipement de comptage de l'électricité (c.a.)
- [N6] NF EN 1434 Compteurs d'énergie thermique
- [N7] Recommandation Internationale OIML R 75, Compteurs d'énergie thermique, Organisation Internationale de Métrologie légale (OIML)

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOV) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSFA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



GUIDE

COMPTEURS ET CAPTEURS

BONNES PRATIQUES POUR CHOISIR ET INSTALLER LES POINTS DE MESURE

JUILLET 2015

NEUF-RÉNOVATION

Pour améliorer il faut maîtriser, pour maîtriser il faut comprendre, pour comprendre il faut mesurer.

Les informations des compteurs et des capteurs sont nécessaires pour l'efficacité énergétique, elles sont à la base des fonctionnalités des équipements, donc des consommations d'énergie.

Ces sources d'information doivent présenter des valeurs à hauteur des enjeux. Ce recueil est destiné à servir de guide vers deux progrès : la confiance dans les données de base et la mutualisation de ces données.

Assurer la confiance. Les professionnels qui conçoivent, qui réalisent et qui exploitent ont tous un rôle dans les qualités métrologiques. Il s'agit de choisir des dispositifs suffisamment précis, de les poser aux emplacements où ils sont utiles, de considérer la représentativité de leurs mesures et enfin de maintenir leurs qualités dans la durée.

Mutualiser. Les réseaux de communication internes permettent maintenant de considérer que les points de mesure sont les émetteurs d'un flux de données partagées par les équipements, les automatismes et les services techniques.

Dans le chapitre 1, ce guide donne des indications pour inviter l'ingénierie de conception à traiter les points de mesure dans leur ensemble, au moyen d'un tableau des points, afin de mutualiser la ressource. Il s'agit de rassembler les fonctionnalités à assurer et de prévoir les services qui utiliseront les mesures dans une démarche d'intégration.

Le chapitre 2 donne des indications pour conserver les qualités métrologiques des mesures.

Les chapitres 3 à 20 rassemblent des recommandations concrètes destinées aux professionnels pour les études de réalisation : choisir les produits et leurs emplacements et pour les tâches de chantier : poser les points de mesure en prenant des précautions particulières, clairement indiquées. Des indications permettent de préparer leur maintenance.



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

