

PRODUCTION THERMIQUE ISSUE DE CHAUFFERIE BIOMASSE

FICHE TECHNIQUE : COMPTAGE DE L'ENERGIE THERMIQUE

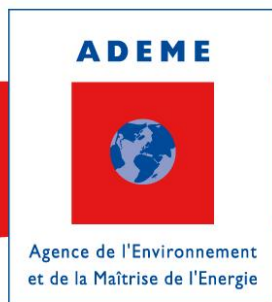
HUILE THERMIQUE

Mai 2012

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par Enertime SAS

Coordination technique : Marina Boucher – Service Bioressources
Direction Productions et Energies Durables – ADEME (Angers)

N° contrat : 1201C0006



FICHE TECHNIQUE : HUILE THERMIQUE

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les membres du comité de suivi de l'étude à l'ADEME, Marina Boucher, Frédéric Streiff et Sylvain Bordebeure, pour leur disponibilité et leur confiance tout au long de ce travail.

Les auteurs adressent également leurs remerciements à Bruno Bretel (B2 Ingénierie) et Jacques Daunay (Barrault Recherche) pour leurs conseils et le partage de leur expérience dans le domaine du comptage thermique.

En français :

L'ADEME en bref :

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

www.ademe.fr.

En anglais :

About ADEME:

The French Environment and Energy Management Agency (ADEME) is a public agency under the joint authority of the Ministry for Ecology, Sustainable Development, Transport and Housing, the Ministry for Higher Education and Research, and the Ministry for Economy, Finance and Industry. The agency is active in the implementation of public policy in the areas of the environment, energy and sustainable development. ADEME provides expertise and advisory services to businesses, local authorities and communities, government bodies and the public at large, to enable them to establish and consolidate their environmental action. As part of this work the agency helps finance projects, from research to implementation, in the areas of waste management, soil conservation, energy efficiency and renewable energy, air quality and noise abatement.

www.ademe.fr.

En français :

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

En anglais:

Any representation or reproduction of the contents herein, in whole or in part, without the consent of the author(s) or their assignees or successors, is illicit under the French Intellectual Property Code (article L 122-4) and constitutes an infringement of copyright subject to penal sanctions. Authorised copying (article 122-5) is restricted to copies or reproductions for private use by the copier alone, excluding collective or group use, and to short citations and analyses integrated into works of a critical, pedagogical or informational nature, subject to compliance with the stipulations of articles L 122-10 – L 122-12 incl. of the Intellectual Property Code as regards reproduction by reprographic means.

Sommaire

I. Introduction aux méthodes de comptage de l'énergie thermique	5
1. Pourquoi mesurer l'énergie thermique des installations biomasse-énergie	5
2. Définition de l'huile thermique	6
3. Composition d'un compteur d'énergie thermique	7
4. Grandeurs à mesurer	7
5. Principe de calcul de la puissance thermique	7
6. Schéma de comptage et points de mesure sur le circuit d'huile thermique	8
1. Production d'énergie thermique seule	8
2. Production d'énergie par cogénération à cycle organique de Rankine	9
II. Méthodes de comptage de l'énergie thermique dans un circuit d'huile thermique	10
1. Méthodes et technologies de comptage	10
1. Mesure du débit d'huile thermique	10
2. Mesure de température	10
3. Mesure de pression	11
2. Principe de fonctionnement des débitmètres	11
1. Débitmètres à diaphragme	11
2. Compteurs volumétriques	12
3. Débitmètre à ultrasons à temps de propagation	12
4. Débitmètre massique à effet Coriolis	12
III. Contraintes des fluides et performances	13
1. Gammes de température et pression d'usage	13
2. Caractéristiques dynamiques et de la conduite	14
1. Diamètre nominal	14
2. Dynamique de mesure	14
3. Perte de pression	14
4. Longueur droite minimale recommandée	14
3. Exactitude des mesures	15
1. Exactitude de la mesure de débit	15
2. Exigences d'exactitude	15
3. Détermination de l'exactitude	17
4. Répétabilité et reproductibilité	17
4. Signal de sortie et télérelève des données	17
1. Sans report d'information (indicateur local)	17
2. Avec report impulsionnel	18
3. Avec report M-Bus	19
IV. Critères de sélection	20
1. Critères de sélection d'un compteur d'énergie thermique	20
2. Éléments relatifs aux coûts d'acquisition et maintenance	20
3. Agrément pour transactions commerciales	21
4. Grille d'aide à la sélection du débitmètre	21
Références bibliographiques	22

Résumé

Cette fiche présente les méthodes et technologies adaptées au comptage de l'énergie thermique produite par une chaudière biomasse utilisant de l'huile comme fluide caloporteur.

La mesure de débit d'huile thermique doit être de préférence réalisée par un système à pression différentielle à diaphragme ou équivalent. D'autres technologies sont utilisables mais doivent être adaptées aux conditions du fluide et du circuit.

Pour la procédure de comptage de l'énergie thermique produite par l'installation, se rapporter au **Cahier des charges à destination du bénéficiaire de l'aide ADEME pour le comptage et la transmission des données.**

Nota bene

Les technologies présentées dans cette fiche sont recommandées par l'ADEME pour le comptage de l'énergie thermique. Elles ne sont pas exhaustives et d'autres technologies peuvent être développées et proposées par les fabricants d'instruments et d'appareils de mesure.

Toute technologie d'instrument ou d'appareil de mesure respectant les exigences du cahier des charges de comptage de l'énergie thermique pourra être utilisée.

Les extraits des normes :

- *NF EN 1434-1 Août 2007. Compteurs d'énergie thermique - Partie 1 : prescriptions générales.*
- *NF EN 1434-3 Avril 2009. Compteurs d'énergie thermique - Partie 3 : échange de données et interfaces.*
- *NF EN 1434-6 Août 2007. Compteurs d'énergie thermique - Partie 6 : installation, mise en service, surveillance de fonctionnement et maintenance.*

sont reproduits avec l'accord d'Afnor. Seuls les textes originaux et complets des normes telles que diffusées par Afnor Editions – accessibles via le site internet www.boutique-afnor.org – ont valeur normative. "

I. Introduction aux méthodes de comptage de l'énergie thermique

Suite aux réflexions conduites dans le cadre du Grenelle Environnement, l'ADEME s'est vue confier la gestion d'un fonds « chaleur renouvelable » pour développer la biomasse-énergie, le solaire, les pompes à chaleur, la géothermie, le biogaz... dans l'habitat collectif, le tertiaire, l'agriculture et l'industrie.

Ce fonds doit permettre de répondre aux objectifs ambitieux qui ont été fixés à l'horizon 2020 pour les énergies renouvelables.

En ce qui concerne la filière biomasse énergie, le maître d'ouvrage bénéficiaire d'une aide du fonds chaleur aura à sa charge l'investissement et l'exploitation d'un compteur énergétique mesurant la production thermique de la chaudière biomasse, le versement des aides par l'ADEME étant conditionné par la production thermique réelle de l'installation nouvelle (mégawatt-heures produits).

Pour une installation produisant plus de 1 000 tep par an d'énergie thermique, le maître d'ouvrage devra transmettre quotidiennement la production thermique à l'ADEME, via une plateforme de télérelève et respecter les recommandations du cahier des charges « *Suivi à distance de la production énergétique des installations biomasse énergie : Cahier des charges à destination du bénéficiaire de l'aide ADEME pour le comptage et la transmission des données.* »

Cette fiche a pour objectif de présenter les méthodes et technologies à utiliser pour le comptage de l'énergie thermique produite par des installations biomasse-énergie utilisant de l'huile thermique (ou fluide thermique).

1. Pourquoi mesurer l'énergie thermique des installations biomasse-énergie

Les chaudières biomasse sont utilisées dans l'industrie, l'agriculture, le tertiaire et dans le collectif tertiaire pour produire de l'énergie thermique, utilisée sous forme de vapeur (saturée, sèche ou surchauffée), d'eau chaude ou surchauffée, d'huile thermique ou d'air chaud. Dans le cas d'une installation aidée par l'ADEME, le versement à l'exploitant de l'aide financière est conditionné à la production d'énergie réelle, qui doit donc être mesurée de manière précise.

La mesure de l'énergie thermique dans un circuit permet de :

- Connaître les quantités d'énergie produites par la chaudière et consommées par le circuit de l'utilisateur ;
- Déterminer le rendement de l'installation, le coût de production de l'énergie thermique et la consommation d'énergie par unité de produit fini (dans le cas d'une entreprise industrielle) ;
- Adapter la production d'énergie thermique à la demande du circuit de l'utilisateur ;
- Et surtout de **valider de manière normalisée et fiable les quantités d'énergie thermique effectivement produites, dans le cadre du conditionnement d'une aide financière à la production réelle de la chaudière** et/ou de transactions commerciales.

La mesure de l'énergie thermique est réalisée à l'aide d'un compteur d'énergie thermique, instrument qui, dans un circuit d'échange thermique, mesure l'énergie transportée par un fluide caloporteur. Il existe plusieurs catégories de compteurs adaptées à différents types de fluide (eau chaude, vapeur, air chaud, huile thermique) et différentes caractéristiques du fluide (pression, température, viscosité, charge, etc.).

2. Définition de l'huile thermique

Les huiles thermiques (également appelées fluides thermiques) regroupent un ensemble de d'huiles minérales ou de synthèse, dont les propriétés leur permettent d'être utilisées comme fluide caloporteur dans des circuits d'échange thermique. Elles peuvent ainsi être utilisées comme fluide caloporteur dans des chaudières biomasse. Elles présentent un avantage par rapport à l'eau qui est de travailler à des pressions faibles malgré une température élevée (> 150°C par exemple).

Les fluides thermiques ont généralement les caractéristiques suivantes (extrait de [14] et des fiches fabricants):

- Avoir un haut coefficient d'échange thermique ;
- Être stables thermiquement à la température de travail ;
- Avoir une viscosité faible pour favoriser un régime turbulent et favoriser le démarrage en froid ;
- Être ni corrosif ni toxique ;
- Être simple à utiliser.

Principaux fluides thermiques et températures caractéristiques :

Nom commercial du fluide	Fabricant	Température max. de service (°C)
AVIA Thermofluid S	AVIA Mineralöl	300
BP Olex	BP	350
BP Transcal N	BP	320
Diphyl ((plusieurs)	Bayer AG	330-400
Dowtherm (plusieurs)	Dow Chemical	329-398
Essotherm 650	Esso	320
Marlotherm	Hüls AG	300-350
Mobiltherm	Mobil Oil	320
Therminol (plusieurs)	Solutia	315-400
Thermogen 1757	Hoechst AG	200
Shell Thermia Oil E	Shell	310
Winthershall WU 46	Wintershall Mihat	320

Les huiles thermiques sont maintenues à une pression juste suffisante pour permettre la circulation dans le réseau. Celui-ci est équipé d'un vase d'expansion sous azote à une pression voisine de la pression statique du réseau.

La présente fiche technique présente les méthodes et équipements adaptés au comptage de l'énergie thermique produite par des installations biomasse-énergie utilisant de l'huile thermique, qui peut être indifféremment l'un ou l'autre des fluides ci-dessus (ou un autre non listé ici). Chaque fluide ayant des propriétés qui lui sont propres, il est nécessaire de se rapprocher des fabricants de chaudière biomasse-énergie pour valider la compatibilité des équipements de mesure avec le fluide thermique utilisé.

3. Composition d'un compteur d'énergie thermique

Un compteur d'énergie thermique est soit un équipement complet, soit un équipement constitué d'une combinaison de sous-ensembles :

- **Un mesureur (débitmètre)** : dispositif de mesure du débit ou du volume du fluide caloporteur ;
- **Deux sondes de température** ; mesurent la différence de température entre les deux points de mesure ;
- **Un concentrateur** : automate qui récupère et traite les données transmises par le mesureur et les sondes. Il calcule la puissance thermique instantanée et réalise un cumul en continu ;
- Dans le cas d'une télérelève de l'énergie thermique comptée, le concentrateur comprend un **équipement de télétransmission des données** (GPRS/GSM, Ethernet, etc.) ;

4. Grandeurs à mesurer

Pour le comptage de l'énergie thermique, il est nécessaire de mesurer :

- **Le débit massique ou volumique** du fluide caloporteur ;
- **La différence de température** entre l'amont et l'aval du système d'échange thermique.

Le compteur d'énergie thermique exprime la quantité d'énergie thermique en unités de mesure légales ou pratiques.

5. Principe de calcul de la puissance thermique

La puissance thermique transmise par la chaudière au fluide caloporteur de la chaudière (ici l'huile thermique) est exprimée selon la formule :

$$P_{th} = Q_m \times \Delta T \times Cp \times 1000$$

Avec :

P_{th} : Puissance thermique exprimée en kW

Q_m : débit massique du fluide en kg/s

ΔT : différence de température entre T_1 et T_2 aux deux points de mesure (en °C).

Cp : coefficient calorifique du fluide, en Joules/kg.°C. Cp est variable, en fonction de la température réelle du fluide au point de mesure. Une formule devra être créée dans le calculateur de puissance thermique.

Pour rappel :

- Relation entre débit massique et débit volumique :

$$Q_m = Q_v \times \rho / 3\,600$$

Avec :

Q_m : débit massique du fluide (en kg/s),

Q_v : débit volumique (en m³/h),

ρ : masse volumique du fluide (en kg/m³). ρ est variable, en fonction de la température réelle du fluide au point de mesure. Une formule devra être créée dans le calculateur de puissance thermique.

6. Schéma de comptage et points de mesure sur le circuit d'huile thermique

1. Production d'énergie thermique seule

Un circuit d'huile thermique étant un circuit fermé, il n'y a pas en théorie de perte ni de purge d'huile. Le schéma de comptage ci-dessous s'applique.

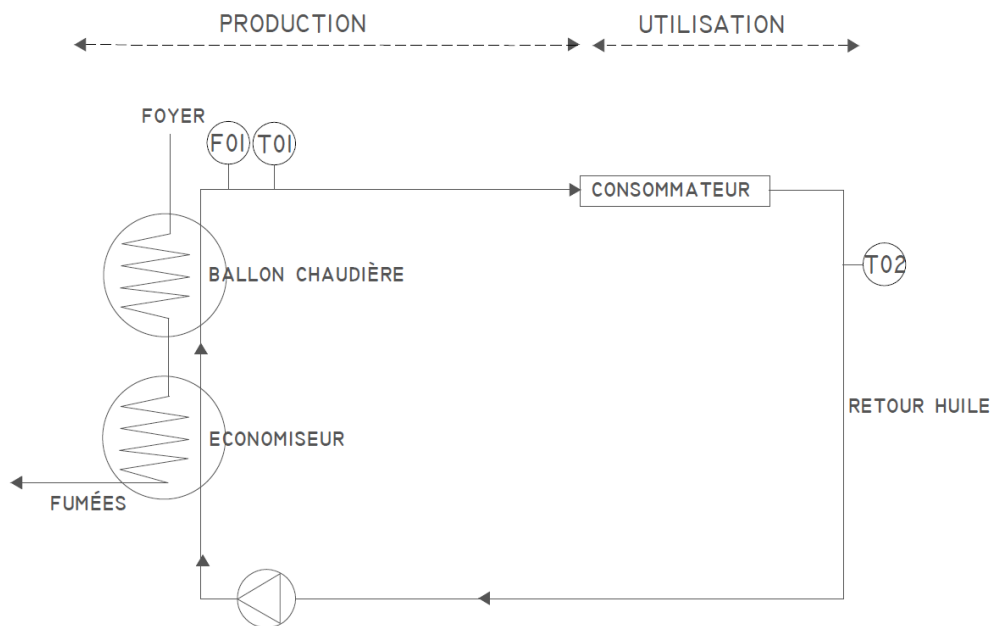


Figure 1 : Positionnement des capteurs sur le circuit d'huile thermique

T0X : Point de mesure de la température

F0X : Point de mesure du débit

Dans le cas d'une installation biomasse-énergie utilisant une chaudière à huile thermique :

- **Un débitmètre (F01) et une première sonde de température (T01) doivent être installés en sortie chaudière.**
- **Une seconde sonde de température (T02) doit être installée sur le circuit de retour de l'huile thermique à la chaudière.**

Le débitmètre pourra éventuellement être installé sur le circuit de retour de l'huile (point de mesure plus froid) pour permettre de réduire la température de fonctionnement du débitmètre.

2. Production d'énergie par cogénération à cycle organique de Rankine

La cogénération est la production combinée d'électricité et de chaleur. Les chaudières à huile thermique sont utilisées dans des installations de cogénération couplées à un module à cycle organique de Rankine (ORC).

L'huile chaude évapore un fluide organique (dans l'évaporateur), ce fluide organique se détend dans une turbine puis est condensé et renvoyé vers l'évaporateur. Le condenseur, qui utilise de l'eau pour refroidir le fluide organique, produit ainsi de l'eau chaude qui est envoyée vers un ou plusieurs consommateurs pour être utilisée.

Dans ce cas, on utilise un débitmètre adapté aux circuits d'eau chaude.

Se rapporter à la fiche technique **ADEME, 2012, Production thermique issue de chaufferie biomasse. Fiche Technique : Comptage de l'énergie thermique Eau chaude et surchauffée** pour les méthodes et technologies adaptées à la mesure des débits d'eau chaude.

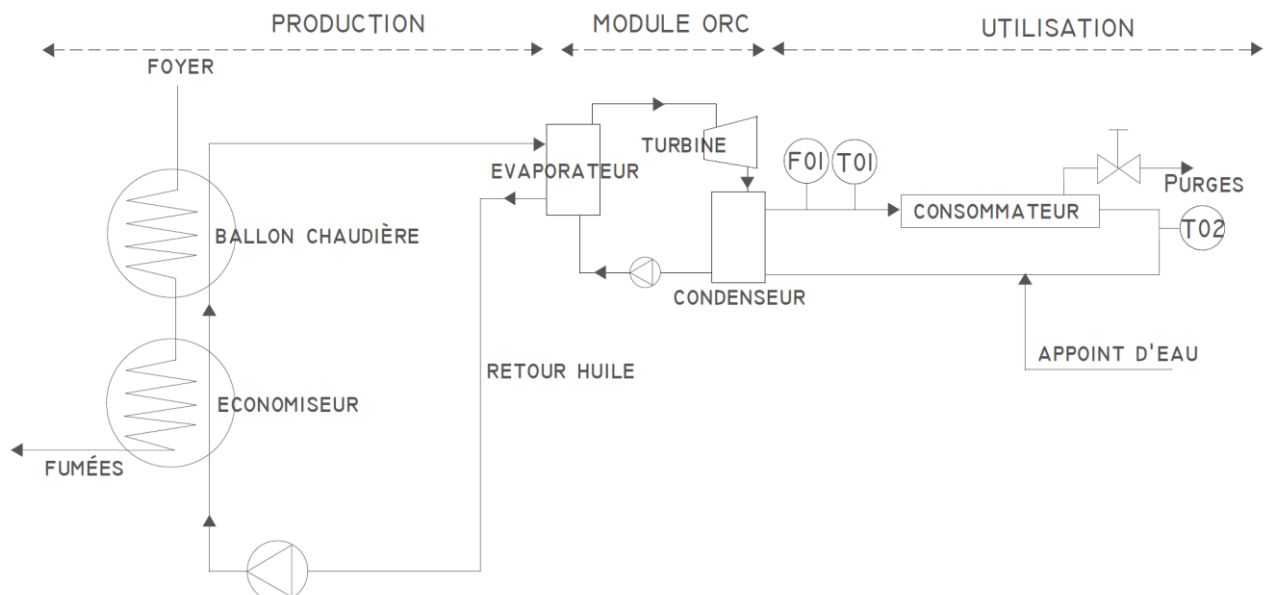


Figure 2 : Positionnement des capteurs sur le circuit d'une installation de cogénération utilisant une chaudière à huile thermique

T0X : Point de mesure de la température

F0X : Point de mesure du débit

Deux points de mesure sont nécessaires sur le circuit d'eau chaude :

- **Le débitmètre (F01) et une première sonde de température (T01)** doivent être installés sur le circuit d'eau en aval du condenseur du module ORC, en amont du consommateur de l'eau chaude.
- **Une seconde sonde de température (T02)** doit être installée sur le circuit de retour de l'eau.

II. Méthodes de comptage de l'énergie thermique dans un circuit d'huile thermique

1. Méthodes et technologies de comptage

Le comptage de l'énergie thermique produite dans un circuit utilisant de l'huile thermique doit être réalisé en mesurant au minimum deux données :

- Le débit massique ou volumique de l'huile ;
- La température de l'huile en amont et en aval de la chaudière ;

1. Mesure du débit d'huile thermique

La mesure de débit d'huile thermique peut être réalisée à l'aide d'équipements appartenant à plusieurs classes :

Classe d'équipement	Technologies adaptées à la mesure du débit d'huile thermique
Débitmètres à pression différentielle	Diaphragmes
Compteurs volumétriques	à piston, roues ovales, disque oscillant ou rotors à lobes
Débitmètres tachymétriques	Débitmètre à ultrasons à temps de propagation
Débitmètres massiques	Débitmètre à effet Coriolis

Les équipements adaptés à la mesure du débit d'huile thermique sont les débitmètres globalement adaptés à la mesure de débit de liquide visqueux, fonctionnant dans les plages de température de service de chaque huile. La plupart des huiles thermiques ont une température de fonctionnement entre 200°C et 400°C. Certaines huiles sont limitées à un usage en dessous de 200°C.

La compatibilité du débitmètre avec l'huile utilisée dans la chaudière doit être vérifiée auprès du fabricant.

2. Mesure de température

La température doit être mesurée aux deux points du schéma de comptage pour le calcul de la puissance thermique.

Les sondes de température adaptées sont les sondes résistives (de type platine Pt 100 Ω ou Pt 1000 Ω).

Des sondes de température peuvent également être intégrées directement sur certains modèles de débitmètres.

La longueur des sondes doit être adaptée au diamètre de la canalisation, de manière à ce que l'élément sensible se situe au centre de la canalisation. Cependant, dans les canalisations de grand diamètre et dans le cas de mesures en plusieurs points, il n'est pas nécessaire que les éléments sensibles pénètrent à plus de 150 mm dans la conduite.

La partie sensible de la sonde ne doit pas se trouver dans une zone morte.

Dans la mesure du possible, les couples de sondes de température doivent être appairés et avoir une longueur de câble de liaison identique.

3. Mesure de pression

La mesure de la pression n'est pas nécessaire étant donné que l'huile circule sous forme liquide.

2. Principe de fonctionnement des débitmètres

1. Débitmètres à diaphragme

Les débitmètres à pression différentielle mesurent la chute de pression entre l'amont et l'aval d'une constriction (réduction de la section) créée par l'insertion dans la conduite d'une plaque à orifice (ici un diaphragme), dont le diamètre est inférieur à celui de la conduite. La différence de pression créée est mesurée par deux sondes placées en amont et en aval de la constriction. Le débit volumique est calculé comme étant proportionnel à la racine carrée de la différence de pression entre les deux points de mesure P_1 et P_2 .

En théorie, cela revient à exploiter la formule simplifiée suivante :

$$Q_v = v * S = S * \sqrt{(2 * P_{dyn} / \rho)}$$

Avec : $P_1 - P_2 = 2 * P_{dyn} = \rho * v^2$

- Q_v : débit volumique en m^3/s
- P_1 et P_2 : pression aux points de mesure 1 et 2
- P_{dyn} : pression dynamique
- v : vitesse du fluide en m/s
- S : section de la conduite en m^2
- ρ : masse volumique du fluide en kg/m^3

Tous les débitmètres à pression différentielle nécessitent la connaissance préalable de certaines données pour le calcul du débit massique :

- La masse volumique du fluide aux conditions de l'écoulement en amont ;
- La viscosité du fluide.

Dans le cas de l'huile, ces valeurs doivent être retrouvées dans les fiches techniques du fournisseur. Il est à noter que ces propriétés dépendent de la température.

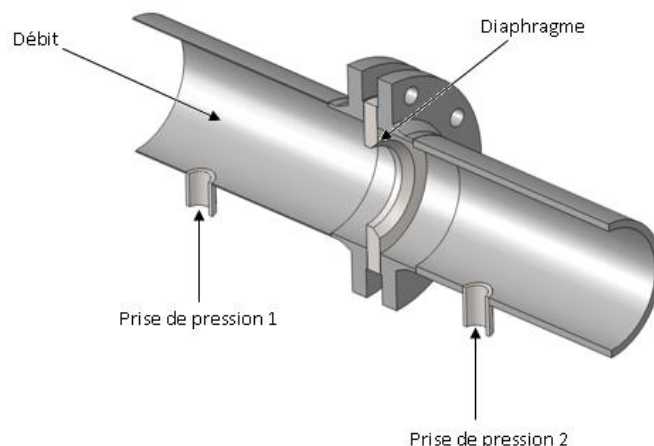


Figure 3 : Diaphragme avec prises à D et D/2
(Schéma Enertime)

Les prises de pression doivent être **au-dessous de la conduite** et remplies de condensats, de manière à créer la même pression hydrostatique à l'entrée du capteur.

Le diaphragme est le plus répandu des organes déprimogènes. Plusieurs types de diaphragmes existent avec différentes formes et position du ou des orifice(s) sur le disque.

2. Compteurs volumétriques

Un compteur volumétrique mesure directement le débit volumique du fluide dans une conduite en fractionnant le fluide de volumes unitaires. Le débitmètre « emprisonne » de manière répétée un volume unitaire de fluide et envoie un signal répété (de type impulsionnel) correspondant à chaque volume unitaire comptabilisé. Le débit volumétrique est donc directement lié à la fréquence du signal.

Quatre types de compteur volumétrique fonctionnant sur ce principe sont utilisés :

- Compteur à piston ;
- Compteur à roues ovales ;
- Compteur à disque oscillant et ;
- Compteur à rotors à lobes).

Ces compteurs sont plutôt utilisés pour le comptage de l'eau. Leur usage est limité à des fluides dont la température ne dépasse pas 150°C, aussi leur usage sur des huiles thermiques peut être limité aux circuits de retour de l'huile vers la chaudière. Vérifier que la plage de température d'utilisation du compteur est compatible avec celle du fluide thermique utilisé comme caloporteur dans l'installation biomasse-énergie.

3. Débitmètre à ultrasons à temps de propagation

Le principe de fonctionnement du débitmètre à temps de propagation (également appelé temps de transit) est basé sur la mesure de la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore dans le fluide.

Deux transducteurs émetteurs et récepteurs sont montés sur la conduite avec un angle défini et génèrent une onde qui circule à la vitesse du son, à laquelle s'ajoute dans un sens la vitesse du fluide, proportionnelle au débit volumique.

Deux systèmes de débitmètres à ultrasons ont été développés, mais seuls les débitmètres à temps de propagation sont adaptés à l'huile thermique (liquide visqueux non chargé). L'autre système (utilisant l'effet Doppler) est plutôt adapté aux liquides chargés en particules.

4. Débitmètre massique à effet Coriolis

Les débitmètres massiques à effet Coriolis mesurent la déformation provoquée par le fluide sur :

- Soit un tube en U sans obstacle dans lequel s'écoule le fluide ;
- Soit un ou deux tubes insérés longitudinalement à la conduite.

Cette déformation, dite de Coriolis, imprime un mouvement de vibration/oscillation au(x) tube(s) dont la fréquence est connue. Le débitmètre calcule alors le **débit massique** du fluide suivant la fréquence et la différence de phase entre les oscillations au niveau de deux capteurs, placés aux deux extrémités de chaque tube. Le système mesure également la densité et la température du fluide.

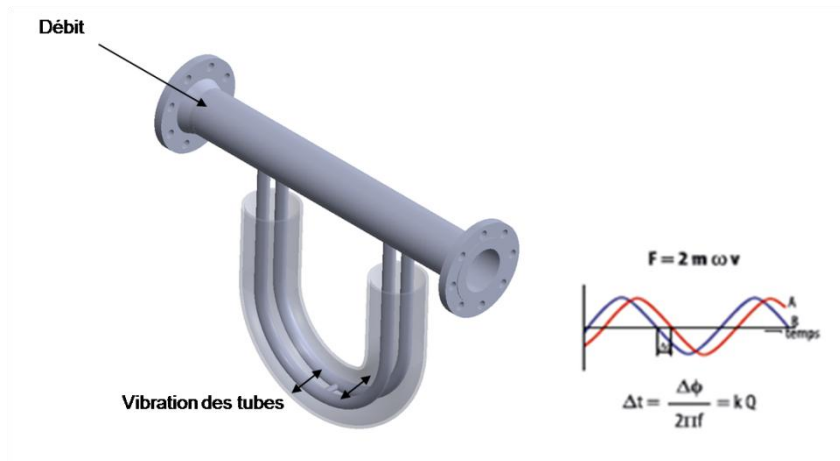


Figure 4 : Débitmètre à effet Coriolis en U (schéma de droite extrait de [7])

Les débitmètres à effet Coriolis sont peu adaptés au comptage sur les circuits d'huile thermique et sont limités en température.

III. Contraintes des fluides et performances

1. Gammes de température et pression d'usage

Les gammes de température et de pression admissibles par les différentes technologies de débitmètre peuvent varier d'un fournisseur à l'autre, selon la taille des conduites (diamètre nominal) et d'un fluide à l'autre. Elles sont données ci-dessous de manière indicative.

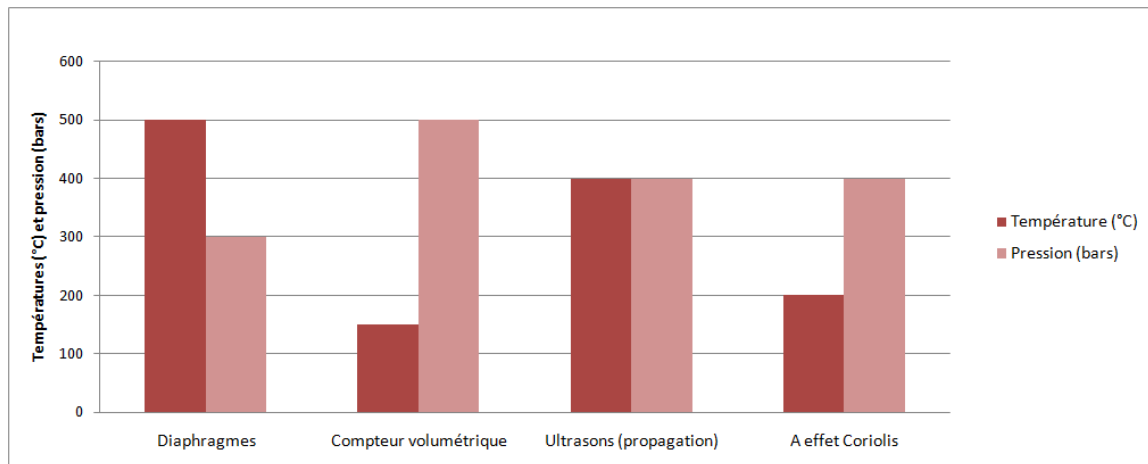


Figure 5 : Plages de pression et température d'usage des débitmètres adaptés à l'huile thermique (adapté de [7])

Les compteurs volumétriques et débitmètres à effet Coriolis sont limités en température (respectivement à 150°C et 200°C maximum). Leur usage dans les installations biomasse-énergie à huile thermique sera limité.

Les autres technologies peuvent fonctionner jusqu'à 400 ou 450°C, ce qui correspond aux températures maximales de plusieurs fluides (voir plus haut § 1.2).

2. Caractéristiques dynamiques et de la conduite

Classe d'équipement Technologie	Diamètre nominal DN ou Ø (mm)	Dynamique de débit (Qmax/Qmin)	Perte de pression (en % dP) ⁽¹⁾
Débitmètres à pression différentielle			
Débitmètres à diaphragme	3 à 300	1 à 5	50 à 80%
Compteurs volumétriques			
	3 à 300	1 à 150	Très variable selon le débit
Débitmètres tachymétriques			
Débitmètre à ultrasons (propagation)	25 à 5 000	1 à 200	Négligeable
Débitmètres massiques			
A effet Coriolis	1 à 350	1 à 100 min.	Négligeable

(1) en pourcentage de la pression différentielle utilisable pour la mesure

Figure 6 : Contraintes d'installation et performances des débitmètres
(adapté de [7])

1. Diamètre nominal

Les débitmètres à diaphragme ont l'avantage d'être adaptables à une large gamme de diamètres de conduite sans impact significatif sur le coût d'acquisition.

2. Dynamique de mesure

La dynamique de mesure¹ indique le rapport entre le débit maximal et le débit minimal à mesurer (Qmax/Qmin) en un même point de mesure. L'intérêt d'une dynamique élevée est de garantir l'exactitude des mesures dans une gamme plus large de débits.

Exemple : un circuit d'huile thermique dont le débit varie selon la saison, entre 10 m³/h et 100 m³/h, nécessitera l'installation d'un débitmètre dont la dynamique de mesure sera au minimum de 1 à 10.

Toutes les technologies présentées ici pour la mesure de débit d'huile ont une dynamique de débit satisfaisante (au minimum 1 à 50).

3. Perte de pression

Certains débitmètres nécessitent, pour fonctionner correctement, de créer une différence de pression dans la conduite. La perte de pression induite est exprimée en pourcentage de la pression différentielle utilisable pour la mesure.

Les technologies présentées ici entraînent une perte de pression négligeable, à l'exception des compteurs volumétriques. Ceux-ci sont susceptibles d'entraîner des pertes variables en fonction du débit et de la configuration du circuit.

4. Longueur droite minimale recommandée

Pour fonctionner dans la plage d'exactitude de mesure annoncée par le fabricant, un débitmètre doit être installé dans certaines conditions sur la canalisation. En particulier, l'installation doit respecter une distance minimale entre le changement de direction/caractéristiques du fluide et le capteur (dite longueur droite

¹ Le terme de « rangeabilité » est également employé pour désigner la dynamique de mesure d'un équipement.

amont ou avale, exprimée en nombre de DN ou Ø), afin de garantir que le débit du fluide soit homogène et non perturbé.

Cette longueur minimale varie d'un système de comptage à l'autre. Des longueurs droites amont et aval différentes peuvent être préconisées :

- Après un convergent ;
- Après un divergent ;
- Après un ou plusieurs coudes successifs, en particulier non coplanaires (jusqu'à 80 DN) ;
- Après une vanne.

Se rapporter aux spécifications du fabricant dans chaque cas.

3. Exactitude des mesures

1. Exactitude de la mesure de débit

L'exactitude² d'un débitmètre est exprimée en % de la valeur mesurée (% VM).

L'exactitude théorique du débitmètre annoncée par un fabricant se comprend dans des conditions optimales d'installation et d'utilisation, qui respectent les consignes du fabricant. Dans tous les cas, l'étalonnage du système dans des conditions normalisées est nécessaire pour garantir une exactitude mesurée proche de l'exactitude théorique.

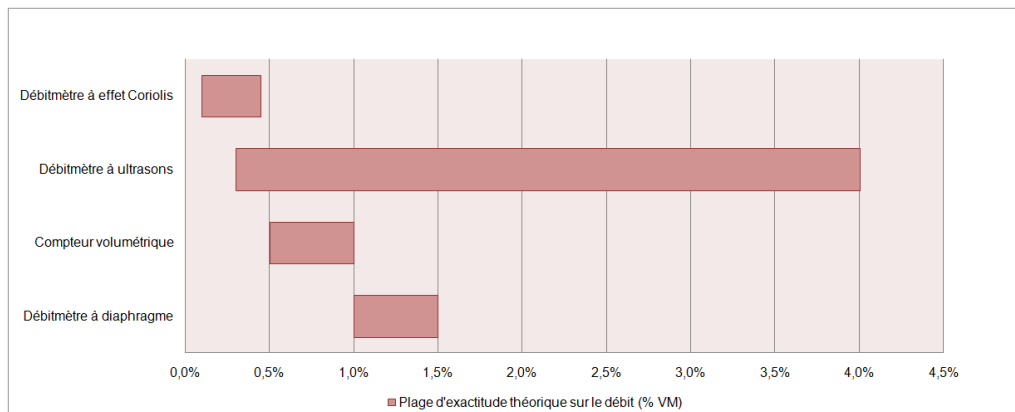


Figure 7 : Plage d'exactitude des débitmètres adaptés à la mesure de débit d'huile thermique (adapté de [7])

Les plages d'exactitude des principales technologies de débitmètres adaptées à l'huile thermique, données dans le graphique ci-dessus, dépendent des propriétés du fluide utilisé et sont données à titre indicatif.

2. Exigences d'exactitude

L'exactitude composée du calcul de la production d'énergie thermique doit être évaluée en fonction de l'exactitude individuelle de chaque sous-ensemble qui compose le compteur.

- **Débitmètre (capteur hydraulique) :**

² On trouve également les termes d'incertitude de mesure et de précision pour exprimer l'exactitude de la mesure fournie par un instrument.

Conformément à la norme européenne EN 1434-1, les capteurs hydrauliques (débitmètres) des compteurs d'énergie thermique doivent respecter les exigences associées à l'une des trois classes d'exactitude suivantes :

Classe d'exactitude	Exactitude E_F (en l/s)	Exactitude E_F maximale tolérée (%)
Classe 1	$E_F = \pm (1 + 0,01 Q_n/Q)$	pas plus de $\pm 3,5$ %
Classe 2	$E_F = \pm (2 + 0,02 Q_n/Q)$	pas plus de ± 5 %
Classe 3	$E_F = \pm (3 + 0,05 Q_n/Q)$	pas plus de ± 5 %

Avec :

Q_n : débit nominal auquel peut fonctionner le capteur hydraulique 24/24 (en l/s)

Q : débit réel de l'installation (en l/s)

L'erreur E_F relie la valeur indiquée à la valeur vraie conventionnelle de la relation entre le signal de sortie du capteur hydraulique et la masse ou le volume.

- **Sondes de température :**

Les sondes de température doivent respecter les exigences d'exactitude de la norme NF EN 60751, à savoir pour **les sondes Pt 100 et Pt 1000** :

Température nominale de fonctionnement (°C)	Classe d'exactitude (tolérance) des sondes (selon NF EN 60751)	Erreur maximale tolérée E_T correspondante (%)
Entre 100 et 600°C	Classe A	Soit au maximum 0,35 % sur la mesure de température
Entre 100 et 850°C	Classe B	Soit au maximum 0,80 % sur la mesure de température

Les classes correspondent aux erreurs maximales calculées (en °C) selon les formules suivantes :

$$\text{Classe A : } dT = \pm (0,15 + 0,002 * T)$$

$$\text{Classe B : } dT = \pm (0,3 + 0,005 * T)$$

Avec :

T : valeur de la température mesurée (°C)

dT : exactitude sur la mesure de température (°C)

- **Calculateur (intégrateur) :**

Conformément à la norme européenne EN 1434-1, le calculateur utilisé doit respecter les exigences d'erreur relative maximale calculées selon :

$$E_c = \pm (0,5 + \Delta T \text{ min} / \Delta T)$$

Avec :

$\Delta T \text{ min}$: limite minimale de l'étendue de la différence de température des sondes (°C)

ΔT : étendue réelle de la différence de température des sondes (°C)

L'erreur E_c relie la valeur indiquée de l'énergie thermique à la valeur vraie conventionnelle de cette énergie.

3. Détermination de l'exactitude

L'exactitude composée du calcul de la production d'énergie thermique doit être évaluée en fonction de l'exactitude individuelle de chacune des grandeurs mesurées, selon la formule ci-dessous.

L'exactitude composée du résultat d'une mesure, lorsque ce résultat est obtenu à partir d'autres grandeurs (débit, température, etc.), est égale à la racine carrée de la somme des variances de ces autres grandeurs.

Formule type :

$$E_{\text{tot}} = \sqrt{(E_1^2 + E_2^2 + E_i^2)}$$

Avec :

E_{tot} : l'exactitude composée du résultat de la mesure.

E_1 , E_2 et E_i : les tolérances sur les mesures respectives des 1^{ère}, 2^{ème} et i^{ème} grandeurs mesurées.

Exemple : Pour un calcul de production d'énergie thermique, l'exactitude totale E_{tot} dépend des mesures de débit F ($E_F = 2\%$), de l'exactitude des deux sondes de température T01 ($E_{T01} = 0,5\%$) et T02 ($E_{T02} = 0,5\%$) et de celle du calculateur/intégrateur ($E_C = 1\%$). L'exactitude totale composée sera :

$$E_{\text{tot}} = \sqrt{(E_F^2 + E_{T01}^2 + E_{T02}^2 + E_C^2)} = \sqrt{(0,04\% + 0,0025\% + 0,0025\% + 0,01\%)} = 2,35\%$$

Se référer également au **Guide des incertitudes de mesure** [3] pour la méthode de calcul des exactitudes composées.

4. Répétabilité et reproductibilité

La répétabilité (ou fidélité) des mesures pour chaque catégorie de débitmètre est la différence entre les résultats mesurés dans les mêmes conditions de mesure.

La reproductibilité des mesures (différence entre les résultats mesurés, dans les mêmes conditions de mesure, dans un lieu différent ou par un utilisateur différent) est donnée de la même manière par le fabricant.

Répétabilité et reproductibilité des instruments de mesure sont des indicateurs de leur bon fonctionnement, et doivent être en accord avec les exigences des normes en vigueur.

4. Signal de sortie et télérelève des données

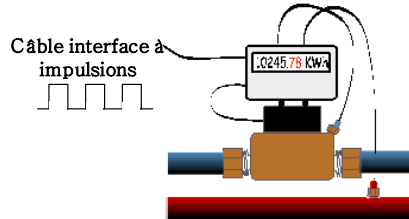
Un compteur d'énergie thermique communique les valeurs mesurées par un signal qui peut être :

1. Sans report d'information (indicateur local)

Il s'agit de compteurs pour lesquels aucune interface n'est disponible pour reporter l'information de comptage (à minima l'index du compteur). **Ces compteurs sont à proscrire dans le cadre d'un subventionnement soumis au comptage de la production d'énergie thermique de l'installation biomasse-énergie.**

2. Avec report impulsionnel

Il s'agit de compteurs pour lesquels il existe une interface – dite impulsionnelle – qui reporte une information « tout ou rien » (équivalent à un contact tantôt ouvert, tantôt fermé) pour chaque quantité de chaleur calculée, cette quantité étant fixée par construction ou programmation.

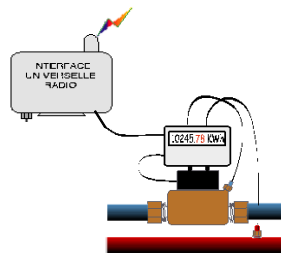


La télérelève d'un compteur impulsionnel peut être réalisée :

- **En équipant le compteur d'un transmetteur radio.**

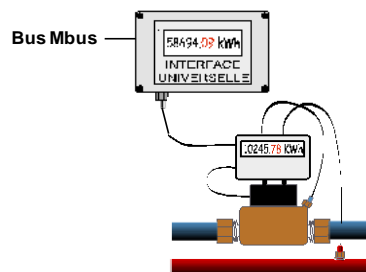
Ce dernier permet de compter le nombre d'impulsions émises par le compteur et de les envoyer vers un concentrateur radio compatible. La liaison compteur / interface radio peut également inclure une détection d'absence de connexion (détection de fraude). Les fréquences radio utilisées peuvent être différentes et dépendent principalement de l'environnement du compteur et de la distance entre l'émetteur et le concentrateur radio.

Remarque : Le transmetteur radio est soit déporté, c'est-à-dire qu'il est relié par un fil à l'émetteur d'impulsion, soit intégré, l'émetteur d'impulsion étant dans ce cas intégré avec le transmetteur radio. Les transmetteurs déportés sont utilisés dans des endroits où les propagations radio sont difficiles (caves profondes, etc.).



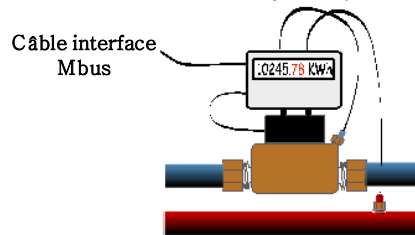
- **En équipant le compteur d'un transmetteur capable de dialoguer sur un bus M-Bus.**

Ce dernier permet de compter le nombre d'impulsions émises par le compteur et de les transmettre à un dispositif maître (concentrateur) lors d'un dialogue sur le bus M-Bus. Cette solution impose le raccordement du bus par câble entre le transmetteur et le dispositif maître. Elle doit donc être limitée aux cas de distances faibles.



3. Avec report M-Bus

Il s'agit de compteurs pour lesquels il existe une interface de type M-Bus permettant, par adressage, d'obtenir depuis un équipement maître une trame contenant les informations issues du compteur. Après décodage, la trame permet d'obtenir le ou les index du compteur (notion d'historique), les états d'erreur, etc.



La télérelève d'un compteur à liaison M-Bus peut être **réalisée directement via un dialogue sur le bus M-Bus**. Cette solution permet de téléreléver l'ensemble des informations relatives au compteur comme ses historiques ou ses états d'erreur. Cette solution impose le raccordement du bus par câble entre le compteur et le dispositif maître (concentrateur). Elle doit donc être limitée aux cas de distances faibles.

IV. Critères de sélection

1. Critères de sélection d'un compteur d'énergie thermique

Cette partie est extraite de [13] NF EN1434-6 Compteurs d'énergie thermique – Partie 6 : Installation, mise en service, surveillance de fonctionnement et maintenance. Annexe A2.

Le type, la taille, l'exactitude et la classe d'environnement d'un compteur d'énergie thermique sont définis en fonction des conditions de fonctionnement et des conditions environnementales de l'installation, compte tenu des particularités suivantes :

- a) Pression du liquide caloporteur ;
- b) Caractéristiques physiques et chimiques du liquide caloporteur ;
- c) Perte de pression acceptable dans le compteur d'énergie thermique ;
- d) Exigences d'exactitude ;
- e) Étendues de température dans les canalisations entrée et sortie du système de chauffage et étendue des différences de température ;
- f) Valeurs maximale et minimale prévues pour le débit du liquide caloporteur ;
- g) Puissance thermique requise du système de chauffage ;
- h) Caractéristiques du débit dans le compteur d'énergie thermique, constant, variable ou intermittent ;
- i) Alimentation électrique requise par le compteur d'énergie thermique ;
- j) Exigences particulières relatives à l'espace requis autour du compteur d'énergie thermique pour permettre une lecture facile et garantir la sécurité de l'installation ainsi que l'entretien du compteur ;
- k) Exigences requises pour les raccordements, c'est-à-dire brides, supports et dimensions du compteur.

2. Éléments relatifs aux coûts d'acquisition et maintenance

Classe d'équipement Technologies	Coût d'acquisition	Coût de maintenance	
Débitmètres à pression différentielle			1 : coût faible 2 : coût moyen 3 : coût élevé
Débitmètre à diaphragme	1	1 à 2	
Compteurs volumétriques	3	2 à 3	
Débitmètres tachymétriques			
Débitmètre à ultrasons (propagation)	3	1	
Débitmètres massiques			
Débitmètre à effet Coriolis	3	1	

Figure 8 : Indications de coûts d'acquisition et de maintenance des différentes technologies de débitmètres (données tirées de [7], [8] et [13])

Les indications de coût ci-dessus n'ont qu'une valeur informative et peuvent varier fortement au sein d'une même catégorie de débitmètres, et en fonction des contraintes du circuit sur lequel sera installé l'équipement et de celles du fluide utilisé.

3. Agrément pour transactions commerciales

Dans la mesure du possible, préférer un système agréé ou homologué pour un usage dans le cadre de transactions commerciales.

4. Grille d'aide à la sélection du débitmètre

	Débitmètre	Diaphragme	Volumétrique	Ultrasons (propagation)	Coriolis
Contraintes du fluide	Mesurer un débit d'huile thermique jusqu'à 150°C	X	X	X	X
	Mesurer un débit d'huile thermique au-delà de 200°C	X		X	
	Mesurer un débit dans large dynamique ($Q_{max}/Q_{min} > 10$)		X	X	X
	Conservier des pertes de charge faibles	X	(I)	X	X
Contraintes de conduite	Mesurer le débit sur une conduite de diamètre <75 mm	X	X	X	X
	Mesurer le débit sur une conduite de diamètre >75 mm	X	X	X	(I)
	Une longueur droite amont courte (< 10 ØN)	X	X		X
	Un capteur indifférent aux vibrations de la conduite et aux pulsations de l'écoulement	X		X	
Exactitude	Une bonne exactitude de mesure (0,5 à 2% VM)	X	X	(I)	
	Une très bonne exactitude de mesure (< 0,5% VM)				X
Paramètres mesurés	Mesurer directement la température, le débit volumique, la densité (et pour certains modèles la viscosité) du fluide				X
Durée de vie	Un capteur robuste et résistant à l'érosion et l'usure mécanique	X		X	
	Un capteur sans pièce en mouvement dans la conduite	X		X	
Expérience	Un bon retour d'expérience sur les applications d'huile thermique	X			

(X) Adapté ou recommandé
(I) Limité ou déconseillé

Les instruments suivants ne sont pas adaptés à la mesure du débit sur les circuits d'huile thermique (fluides visqueux) :

- Débitmètres à tuyères, venturi et tubes de Pitot ;
- Débitmètres à rotor (turbine) ;
- Débitmètres électromagnétiques ;
- Débitmètre à effet vortex ;
- Débitmètres à ultrasons à effet Doppler ;
- Débitmètres massiques à capacité thermique ;
- Débitmètres massiques à convection thermique.

Références bibliographiques

1. ADEME, 2009. Suivi à distance de la production énergétique des installations biomasse-énergie – Etat de l'art des systèmes de comptage de chaleur et de télérelevage – Evaluation technique et économique. 29 pp.
2. ADEME, 2012. Suivi à distance de la production énergétique des installations biomasse-énergie – Cahier des charges à destination du bénéficiaire de l'aide ADEME pour le comptage et la transmission des données. 18 pp.
3. BIPM, 2008. Evaluation des données de mesure – Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure. JCGM 100:2008 (F). Première édition septembre 2008.
4. BS 7405 August 1991. Guide to selection and application of flowmeters for the measurement of fluid flow in closed conduits.
5. Canteach. Principes de science et de fonctionnement des réacteurs – Instrumentation et contrôle. La débitmétrie p21 à 33. 126 pp. disponible sur <https://canteach.candu.org/library/20070200.pdf>.
6. Gailledreau, C., Débitmètres massiques. Techniques de l'Ingénieur, traité Mesures et Contrôle. R 2 300. 14 pp.
7. Guide d'achat. Mesures physiques. Les mesures de débit. Dans MESURES n°755 Mai 2003 p62 à 73.
8. Molin, C., Ossard, S. & Guillet, 2010. Maîtrise de l'Énergie dans l'Industrie des Pâtes, Papiers et Cartons. ADEME-Centre Technique du Papier. 168 pp.
9. NF EN 1434-1 Août 2007. Compteurs d'énergie thermique - Partie 1 : prescriptions générales.
10. NF EN 1434-3 Avril 2009. Compteurs d'énergie thermique - Partie 3 : échange de données et interfaces.
11. NF EN 1434-6 Août 2007. Compteurs d'énergie thermique - Partie 6 : installation, mise en service, surveillance de fonctionnement et maintenance.
12. Rosemount, 1997. Principes fondamentaux de mesure du débit. Nov. 1997. 10 pp.
13. Sigonnez, P., Choix d'un débitmètre. Techniques de l'Ingénieur. R 2 200v2. 20 pp.
14. Site internet de Pirobloc <http://pirobloc-fr.blogspot.com/2008/05/les-fluides-transmetteurs-de-chaleur.html>

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr