
**Technologie du combustible nucléaire —
Étalonnage et détermination du volume
de cuve pour la comptabilité des matières
nucléaires —**

Partie 6:

**Détermination précise de la masse
volumique d'un liquide dans une cuve
bilan équipée de cannes de bullage**

*Nuclear fuel technology — Tank calibration and volume determination
for nuclear materials accountancy*
*Part 6. Accurate in-tank determination of liquid density in accountancy
tanks equipped with dip tubes*



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 18213-6:2008](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2a2e1492-93fe-49dd-a42f-08da69fdc6d9/iso-18213-6-2008)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2a2e1492-93fe-49dd-a42f-08da69fdc6d9/iso-18213-6-2008>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2008

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Principes physiques impliqués	2
4 Données requises	4
5 Équipement nécessaire	5
6 Modes opératoires	5
7 Calcul de la séparation des cannes et de la masse volumique du liquide	5
7.1 Généralités	5
7.2 Cas 1: bullage rapide	5
7.3 Cas 2: bullage lent	8
8 Estimation des incertitudes	11
8.1 Masse volumique	11
8.2 Accélération locale due à la pesanteur	12
8.3 Modifications des conditions de référence	12
Bibliographie	13

[ISO 18213-6:2008](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2a2e1492-93fe-49dd-a42f-08da69fdc6d9/iso-18213-6-2008)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2a2e1492-93fe-49dd-a42f-08da69fdc6d9/iso-18213-6-2008>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 18213-6 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 85, *Énergie nucléaire*, sous-comité SC 5, *Technologie du combustible nucléaire*. (standards.iteh.ai)

L'ISO 18213 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Technologie du combustible nucléaire — Étalonnage et détermination du volume de cuve pour la comptabilité des matières nucléaires*:

- *Partie 1: Aperçu général de la procédure*
- *Partie 2: Normalisation des données pour l'étalonnage de cuve*
- *Partie 3: Méthodes statistiques*
- *Partie 4: Détermination précise de la hauteur de liquide dans une cuve bilan équipée de cannes de bullage, bullage lent*
- *Partie 5: Détermination précise de la hauteur de liquide dans une cuve bilan équipée de cannes de bullage, bullage rapide*
- *Partie 6: Détermination précise de la masse volumique d'un liquide dans une cuve bilan équipée de cannes de bullage*

Introduction

L'ISO 18213 porte sur l'acquisition, la normalisation, l'analyse et l'exploitation des données d'étalonnage permettant de déterminer les volumes de liquide dans les cuves de procédé pour des besoins de comptabilité. La présente partie de l'ISO 18213 est complémentaire des autres parties, qui sont: l'ISO 18213-1 (aperçu général de la procédure), l'ISO 18213-2 (normalisation des données), l'ISO 18213-3 (méthodes statistiques), l'ISO 18213-4 (bullage lent) et l'ISO 18213-5 (bullage rapide).

La procédure décrite dans la présente partie de l'ISO 18213 est une procédure à deux étapes. D'abord, un liquide de masse volumique connue est utilisé pour déterminer la distance verticale entre les extrémités des deux cannes (c'est-à-dire pour étalonner leur séparation). L'étape d'étalonnage requiert des mesurages synchrones (ou aussi synchrones que possible) de la pression exercée à l'extrémité des deux cannes par le liquide d'étalonnage dans lequel elles sont immergées. Les mesures obtenues sont utilisées pour déterminer précisément la séparation des cannes. Ensuite, la masse volumique inconnue du liquide de procédé est déterminée à l'aide de l'étalonnage de la séparation des cannes. L'étape de détermination de la masse volumique requiert aussi des mesurages (presque) synchrones de la pression exercée à l'extrémité des deux cannes par le liquide de procédé de masse volumique inconnue.

En procédant avec beaucoup d'attention, il est possible de déterminer la masse volumique du liquide par des mesures en cuve presque aussi précisément qu'avec des mesures faites en laboratoire. De plus, les déterminations de masse volumique réalisées avec des mesures en cuve sont automatiquement faites avec la température observée du liquide contenu dans la cuve. Ainsi, aucune information supplémentaire au sujet du liquide n'est nécessaire à la déduction de sa masse volumique, à sa température dans la cuve, à partir de sa masse volumique déterminée à une autre température.

À part que la masse volumique du liquide de procédé n'est généralement pas très bien caractérisée, les étapes impliquées dans la détermination de la hauteur du liquide de procédé contenu dans la cuve sont les mêmes que celles permettant de déterminer la hauteur du liquide d'étalonnage. La méthode de détermination de la masse volumique donnée dans la présente partie de l'ISO 18213 est donc très proche des méthodes données dans l'ISO 18213-4 et l'ISO 18213-5 pour la détermination de la hauteur de liquide.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 18213-6:2008

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2a2e1492-93fe-49dd-a42f-08da69fdc6d9/iso-18213-6-2008>

Technologie du combustible nucléaire — Étalonnage et détermination du volume de cuve pour la comptabilité des matières nucléaires —

Partie 6:

Détermination précise de la masse volumique d'un liquide dans une cuve bilan équipée de cannes de bullage

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 18213 spécifie une procédure permettant de déterminer avec précision la masse volumique des liquides de procédé à partir de mesurages en cuve du contenu liquide. Cette procédure est applicable aux cuves équipées de systèmes pneumatiques pour la détermination du contenu liquide qui ont deux cannes de bullage de tailles différentes, ou plus, les cannes étant fixes les unes par rapport aux autres et par rapport à la cuve dans laquelle elles sont installées.

Les méthodes présentées dans la présente partie de l'ISO 18213 ne fournissent des résultats acceptables que pour des liquides clairs (c'est-à-dire sans matières en suspension), homogènes et en équilibre thermique. La précision de la méthode est limitée par

- la précision des déterminations de masse volumique pour le liquide d'étalonnage, et
- le nombre et la précision des déterminations de hauteur de liquide utilisées dans les calculs.

Avec des technologies de mesure de pointe et beaucoup d'attention, et avec de l'eau comme liquide d'étalonnage, il est possible de déterminer la masse volumique des liquides clairs et homogènes avec une précision relative¹⁾ de l'ordre de 2×10^{-4} à 3×10^{-4} , soit environ 0,2 kg/m³ à 0,3 kg/m³.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 18213-1:2007, *Technologie du combustible nucléaire — Étalonnage et détermination du volume de cuve pour la comptabilité des matières nucléaires — Partie 1: Aperçu général de la procédure*

1) Dans l'ISO 18213, toutes les estimations de précision sont exprimées en termes de demi-largeur de l'intervalle de confiance pris égal à deux écarts-types (95 %). Il est donc affirmé ici qu'il est possible d'obtenir des écarts-types relatifs pour les mesures individuelles sur une plage de 0,01 %.

3 Principes physiques impliqués

La méthodologie de la présente partie de l'ISO 18213 s'appuie sur le principe hydrodynamique de base établissant que la pression, P , exercée par une colonne de liquide de température T_m , à l'extrémité d'une canne de bullage qui y est immergée, est donnée par l'Équation (1):

$$P = gH_M\rho_M \quad (1)$$

où

H_M est la hauteur de la colonne de liquide (à la température T_m), en m;

ρ_M est la masse volumique moyenne du liquide dans la colonne (à la température T_m), en kg/m^3 ;

g est l'accélération locale due à la pesanteur, en mm/s^2 .

Si la pression exercée par une quantité de liquide est mesurée simultanément à l'extrémité de deux cannes de longueurs différentes, leur séparation, à la température T_m , est donnée par l'Équation (2):

$$S_M = (H_{1,M} - H_{2,M}) = (P_1 - P_2)/(g\rho_M) \quad (2)$$

où

P_1 est la pression exercée à l'extrémité de la canne principale (longue);

P_2 est la pression exercée à l'extrémité de la canne secondaire (courte);

$H_{1,M}$ est la hauteur de la colonne de liquide au-dessus de l'extrémité de la canne principale;

$H_{2,M}$ est la hauteur de la colonne de liquide au-dessus de l'extrémité de la canne secondaire.

À partir de l'Équation (2), la masse volumique du liquide, ρ_M , peut être exprimée en fonction de la séparation des cannes, S_M :

$$\rho_M = (P_1 - P_2)/[g(H_{1,M} - H_{2,M})] = (P_1 - P_2)/(gS_M) \quad (3)$$

Si l'Équation (2) est utilisée pour déterminer S_M à partir de mesures de pression pour un liquide d'étalonnage dont la masse volumique est connue avec précision, l'Équation (3) peut alors être utilisée pour déterminer la masse volumique d'un liquide inconnu à partir des mesures des pressions P_1 et P_2 que le liquide exerce aux extrémités respectives des cannes.

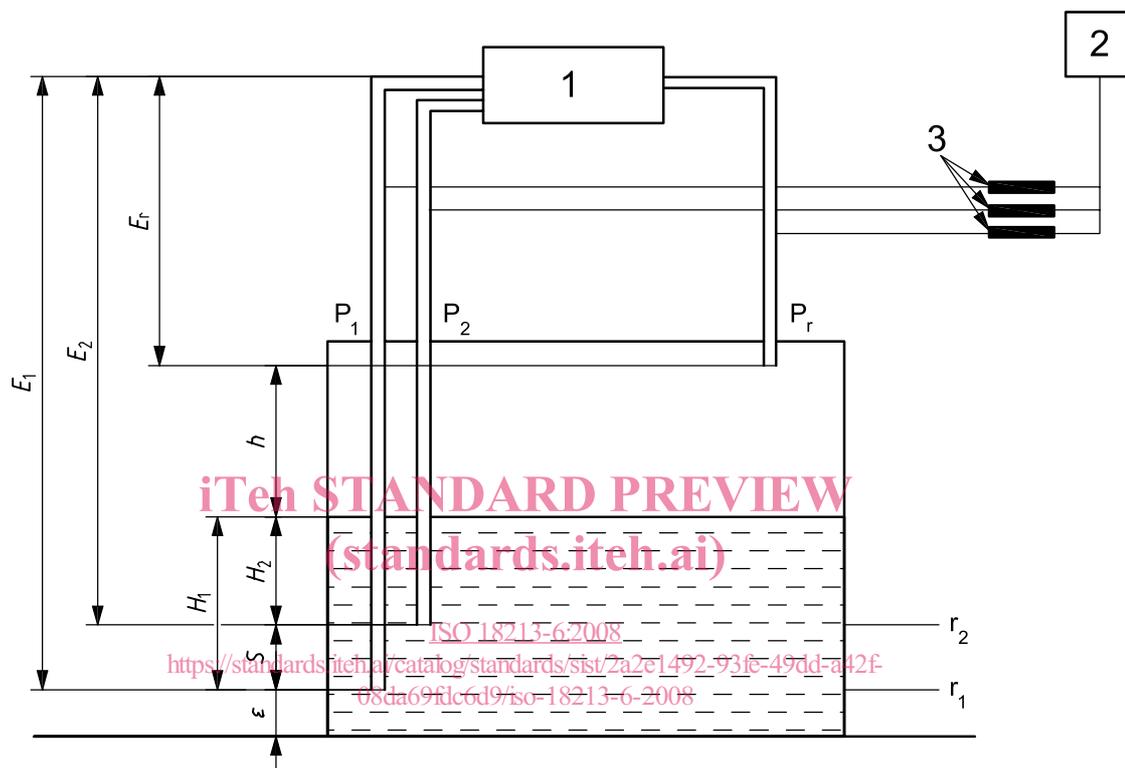
En pratique, il est impossible de réaliser des mesurages directs de la pression exercée par une colonne de liquide à l'extrémité d'une canne dans une cuve de procédé. Par conséquent, les cuves sont généralement équipées de systèmes de cannes de bullage permettant de mesurer indirectement la pression. Avec un système de cannes de bullage, le gaz est introduit sous pression dans une canne immergée dans le liquide de la cuve. Lorsque le bullage se produit, la pression exercée à l'extrémité de la canne par la colonne de liquide, dans la cuve, est égale à celle exercée par le gaz dans le circuit de la canne. Cette pression est mesurée à l'aide d'une jauge située à quelque distance de l'extrémité de la canne. La Figure 1 présente les éléments d'un système de mesurage de pression type pour la détermination du contenu liquide; voir l'ISO 18213-1 pour une description détaillée de ce système.

Les facteurs pouvant entraîner des différences entre les pressions réelles aux extrémités des cannes et les pressions observées à la jauge de mesure incluent la poussée aérostatique, la masse de gaz dans les circuits des cannes, la résistance à l'écoulement et les effets de la formation et libération de la bulle à l'extrémité de la canne. Les réglages compensant ces effets sont traités en détail respectivement dans l'ISO 18213-4 et l'ISO 18213-5, pour le bullage lent et le bullage rapide; la présente partie de l'ISO 18213 se limite à traiter les facteurs affectant l'étalonnage de la séparation des cannes.

D'autres facteurs peuvent également affecter la fiabilité des calculs indiqués par les Équations (2) et (3). Ceux-ci comprennent

- les variations des conditions dans lesquelles les mesures doivent être réalisées, et
- la précision des déterminations de la masse volumique du liquide d'étalonnage.

Les variations de température sont particulièrement significatives à cause de leur effet sur la masse volumique des liquides impliqués. Les réglages compensant les variations de température sont compris dans les étapes de normalisation de l'Article 7. Une formule caractérisant la masse volumique de l'eau déminéralisée (un liquide d'étalonnage préférentiel) en fonction de la température, avec suffisamment de précision pour les besoins de la comptabilité, est donnée à l'Article 4.



Légende

- 1 manomètre
- 2 alimentation en gaz (N₂ ou air)
- 3 débitmètres

Canne	Canne principale	Canne secondaire	Canne de référence
Désignation de la canne	P ₁	P ₂	P _r
Point de référence	r ₁ (primaire)	r ₂ (secondaire)	—
Hauteur de liquide par rapport au point de référence	H ₁	H ₂	—
Élévation de la jauge de pression (manomètre) par rapport au point de référence	E ₁	E ₂	E _r
Élévation de la canne de référence par rapport à la surface du liquide	$h = E_1 - E_r - H_1$	$h = E_2 - E_r - H_2$	—
Élévation du point de référence par rapport au fond de la cuve	ε	$\varepsilon + S^a$	—

^a Distance verticale (séparation) des cannes: $S = H_1 - H_2$.

Figure 1 — Composants d'un système type de mesure de la pression utilisé pour déterminer la quantité de liquide

4 Données requises

La détermination de la séparation des cannes au moyen de l'Équation (2) nécessite des mesures de la pression exercée par un liquide d'étalonnage (de masse volumique connue) à l'extrémité de deux cannes de longueurs différentes (mais fixes). Les données requises sont obtenues en remplissant la cuve de suffisamment de liquide d'étalonnage pour immerger l'extrémité des deux cannes de bullage, puis en mesurant la pression correspondante dans chaque circuit de canne. Il est préférable de réaliser plusieurs relevés pour chaque mesure et de répéter ce procédé pour plusieurs hauteurs de liquide, couvrant une plage de hauteurs intéressantes dans la cuve²⁾. En outre, ces mesures doivent être normalisées à un ensemble prédéterminé de conditions de référence (voir l'Article 7) afin de minimiser l'effet des variations dans les conditions ambiantes, surtout la température, pendant la période de récupération des données.

L'étape d'étalonnage de la séparation des cannes nécessite un liquide (d'étalonnage) dont la masse volumique a été déterminée précisément à toutes les températures étudiées. S'il respecte cette contrainte, tout liquide compatible avec le procédé peut être utilisé pour l'étalonnage. Le liquide d'étalonnage préférentiel est l'eau déminéralisée, car sa masse volumique a été déterminée très précisément à toutes les températures de fonctionnement et les résultats sont faciles à trouver. L'Équation (4) donne des valeurs très précises de la masse volumique, ρ_M , en kilogrammes par mètre cube, de l'eau désaérée (fraîchement distillée) pour des températures $T = T_m$ comprises entre 4 °C et 40 °C:

$$\rho_M = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 + FT^5 \quad (4)$$

où

$$A = 999,843\ 22$$

$$B = 6,684\ 416 \times 10^{-2}$$

$$C = -8,903\ 070 \times 10^{-3}$$

$$D = 8,797\ 523 \times 10^{-5}$$

$$E = -8,030\ 701 \times 10^{-7}$$

$$F = 3,596\ 363 \times 10^{-10}$$

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 18213-6:2008](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2a2e1492-93fe-49dd-a42f-08da69fdc6d9/iso-18213-6-2008)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2a2e1492-93fe-49dd-a42f-08da69fdc6d9/iso-18213-6-2008>

Pour les températures comprises entre 3 °C et 30 °C, l'écart-type résiduel estimé pour cet ajustement est inférieur à 0,001 kg/m³. Pour les températures comprises entre 1 °C et 40 °C, l'écart-type consigné ne dépasse pas 0,001 4 kg/m³.

L'Équation (4) repose sur une détermination nouvellement effectuée de la masse volumique de l'eau^[5] et est reproduite dans l'ISO 18213-1:2007, Annexe A, l'ISO 18213-4:2008, Annexe A et l'ISO 18213-5:2008, Annexe A. Une correction de l'Équation (4) applicable à l'eau saturée en air est aussi donnée dans la Référence [5].

Il est possible d'utiliser l'Équation (4) pour calculer la masse volumique de l'eau avec une précision suffisante permettant de réaliser avec succès la procédure d'étalonnage de la séparation des cannes présentée dans la présente partie de l'ISO 18213. Si l'on utilise un autre liquide que l'eau pour l'étalonnage, il est nécessaire d'en déterminer la masse volumique avec une exactitude appropriée à toutes les températures de mesure avant de pouvoir appliquer avec succès la procédure présentée ici.

2) Il est pratique d'obtenir les données appropriées pour la détermination de la séparation des cannes lors de l'étalonnage de la cuve (voir l'ISO 18213-1).

5 Équipement nécessaire

Comme indiqué dans l'Article 4, il est pratique d'obtenir les données pour déterminer la séparation des cannes lorsque la cuve est en cours d'étalonnage. Dans tous les cas, l'équipement requis pour obtenir les données de séparation des cannes est le même que celui requis pour déterminer la hauteur du liquide pendant la procédure d'étalonnage. L'équipement nécessaire est spécifié dans l'ISO 18213-1:2007, Article 4.

6 Modes opératoires

Les modes opératoires requis pour obtenir les données de séparation des cannes sont les mêmes que ceux requis pour déterminer la hauteur du liquide pendant la procédure d'étalonnage. Les modes opératoires appropriés sont spécifiés dans l'ISO 18213-1:2007, Article 6. Les modes opératoires spécifiques au cas du bullage lent sont spécifiés dans l'ISO 18213-4:2008, Article 3.

7 Calcul de la séparation des cannes et de la masse volumique du liquide

7.1 Généralités

Pour réduire l'effet des changements des conditions ambiantes, les mesurages de pression réalisés pour déterminer la séparation des cannes doivent être normalisés à un ensemble de conditions de référence avant d'être utilisées pour calculer la séparation des cannes. Cependant, les étapes de normalisation dépendent de la configuration physique et de la vitesse de bullage du système de manomètre de la cuve. Dans la configuration représentée à la Figure 1, le côté élevé du manomètre est connecté à la canne (primaire ou secondaire) immergée et le côté bas est connecté à la canne de référence. Dans cette configuration, la pression des deux cannes immergées est mesurée indépendamment de la pression de la canne de référence. Les étapes de normalisation appropriées et les procédures de calcul pour déterminer la séparation des cannes et la masse volumique du liquide, dans la configuration représentée, sont respectivement données pour les bullages rapide et lent en 7.2 et en 7.3. Des estimations de l'incertitude des déterminations résultantes de la masse volumique sont données respectivement en 8.1.1 et en 8.1.2. Il convient que l'utilisateur de la présente partie de l'ISO 18213 consulte toutes les sections correspondant à la situation dans son installation.

Une autre configuration, dans laquelle les deux cannes immergées sont connectées directement entre elles, est possible. Toutefois, cette configuration n'est pas recommandée car elle ne permet pas d'obtenir des mesures indépendantes de hauteur de liquide à partir des deux cannes immergées.

7.2 Cas 1: bullage rapide

7.2.1 Normalisation des données

Les étapes de normalisation des données pour ce cas (côté élevé du manomètre connecté à la canne immergée, côté bas connecté à la canne de référence, bullage rapide) découlent de l'Équation (8) de l'ISO 18213-5:2007, qui donne l'Équation (5) ci-dessous^{3), 4)} pour la hauteur de la colonne de liquide dans la cuve, $H_{1,M}$, au-dessus de l'extrémité de la canne (principale) de bullage, à la température de mesure, T_m , en fonction de la différence de pression observée, ΔP_1 :

$$H_{1,M} = [\Delta P_1 + gE_1(\rho_{g,1} - \rho_{a,s}) - gE_r(\rho_{g,r} - \rho_{a,s}) + (\delta_r - \delta_1) - g\lambda(\rho_M - \rho_{g,1}) - 2\sigma r_b]/[g(\rho_M - \rho_{a,s})] \quad (5)$$

3) L'indice «1» est utilisé pour indiquer les quantités se rapportant à la canne principale (longue) et l'indice «2» est utilisé pour indiquer les quantités se rapportant à la canne secondaire (courte) (voir la Figure 1).

4) Pour les quantités autres que la température, la lettre m est utilisée en indice pour indiquer la dépendance à la température. Un m minuscule (m) se rapporte à la température t_m du liquide contenu dans la cuve-étalon et un m majuscule (M) se rapporte à la température T_m du liquide contenu dans la cuve.