



Ministère de l'Industrie et du Commerce Extérieur

Direction de l'Action Régionale
et de la Petite et Moyenne Industrie

Paris, le 16 MARS 1992

CIRCULAIRE n° 92.00.400.001.1

relative aux ensembles de mesurage de masse
de liquides autres que l'eau

I - INTRODUCTION - CHAMP D'APPLICATION

Le décret n° 88-682 du 6 mai 1988 soumet au contrôle de l'Etat les ensembles de mesurage de liquides autres que l'eau. Toutefois, les différents textes catégoriels ne spécifient des exigences que pour les ensembles de mesurage de volumes.

Or, l'industrie ressent aujourd'hui le besoin d'indications de la masse de liquide mesurée par les ensembles de mesurage de liquides autres que l'eau, contrôlées par l'Etat.

D'autre part, les perspectives d'une prochaine évolution de la réglementation européenne relative aux ensembles de mesurage de liquides autres que l'eau n'incitent pas à publier un arrêté-catégorie pris en application du décret susvisé ou à modifier les textes catégoriels existants.

La présente circulaire institue donc une procédure optionnelle de contrôle des instruments ci-dessus mentionnés. Les instruments n'ayant pas satisfait à ce contrôle doivent porter les mentions prévues aux paragraphes 3.8.1 ou 3.8.2.

II - DEFINITIONS

2.1. Ensemble de mesurage

Ensemble comportant, outre le transducteur de mesure de masse ou de volume lui-même, le dispositif indicateur et les dispositifs complémentaires qui peuvent lui être associés, tous les dispositifs nécessaires pour assurer le mesurage ou destinés à faciliter les opérations, ainsi que tous autres dispositifs qui pourraient influencer le mesurage de quelque manière que ce soit.

Notes : 1) le transducteur de mesure de volume peut être, par exemple, une turbine ou l'élément mesureur d'un compteur de volume.

2) les dispositifs complémentaires associés au transducteur de mesure peuvent être, par exemple : dispositif de remise à zéro, dispositif indicateur de prix, dispositif d'impression, dispositif de prédétermination.

2.2. Transducteur (de mesure) de masse

Dispositif qui traduit le débit massique ou la masse du liquide en signaux destinés au calculateur.

2.3. Transducteur (de mesure) de volume

Dispositif qui traduit le débit volumique ou le volume du liquide en signaux destinés au calculateur.

2.4. Transducteur (de mesure) de masse volumique

Dispositif qui traduit la masse volumique du liquide en signaux destinés au calculateur.

2.5. Calculateur

Dispositif, généralement électronique, qui reçoit la ou les grandeurs de sortie du transducteur de masse ou de volume, et, le cas échéant, d'autres transducteurs de mesure, les valide et les traite en vue de délivrer l'indication de la masse du liquide.

2.6. Ensemble de mesurage massique direct

Ensemble de mesurage délivrant des indications de masse à partir d'un transducteur de masse.

2.7. Ensemble de mesurage massique indirect

Ensemble de mesurage délivrant des indications de masse à partir d'un transducteur de volume et d'un transducteur de masse volumique.

2.8. Ensemble de mesurage massique par calcul

Ensemble de mesurage délivrant des indications de masse à partir d'un transducteur de volume, la valeur de la masse volumique étant introduite manuellement, ou calculée au moyen d'autres paramètres, comme la température, pouvant être mesurés ou dont les valeurs sont introduites manuellement.

2.9. Dispositif de mesurage massique direct

Sous-ensemble d'un ensemble de mesurage incluant au moins un transducteur de masse, un calculateur et un dispositif indicateur de masse.

2.10. Dispositif de mesurage massique indirect

Sous-ensemble d'un ensemble de mesurage incluant au moins un transducteur de masse volumique, un calculateur susceptible de valider et de traiter des signaux issus d'un transducteur de volume et un dispositif indicateur de masse.

2.11. Dispositif d'ajustage

Dispositif permettant d'amener un instrument de mesure à un fonctionnement et à une justesse convenables pour son utilisation.

2.12. Dispositif de réglage

Dispositif permettant à l'utilisateur d'amener un instrument de mesure à un fonctionnement et à une justesse convenables pour son utilisation.

2.13. Masse conventionnelle d'un liquide

Masse totale des poids (ou masses légales marquées) de référence, réalisés dans une matière de masse volumique $8\,000\text{ kg/m}^3$, qui équilibre la masse de ce liquide, dans l'air de masse volumique $1,2\text{ kg/m}^3$, à $20\text{ }^\circ\text{C}$.

Note : la masse conventionnelle est parfois appelée improprement masse commerciale.

III - SPECIFICATIONS METROLOGIQUES

3.1. Grandeur mesurée - unités

Les instruments peuvent indiquer la masse ou la masse conventionnelle du liquide ayant traversé l'ensemble de mesurage.
Le résultat doit être exprimé en tonnes, kilogrammes ou grammes.

3.2. Dispositions générales

Les spécifications métrologiques, autres que celles spécifiées dans la présente circulaire, applicables aux ensembles de mesurage de volume de liquides autres que l'eau, ou à leurs éléments constitutifs, sont transposables aux ensembles de mesurage de masse de liquides autres que l'eau.

Les dispositions de l'annexe I doivent être satisfaites.

3.3. Classes d'exactitude

En fonction de leur utilisation, les ensembles de mesurage de masse sont répartis dans cinq classes d'exactitude, conformément au tableau suivant :

CLASSE	UTILISATION
0,3	Ensembles de mesurage utilisés sur les oléoducs.
0,5	Ensembles de mesurage autres que ceux mentionnés dans le présent tableau.
1,0	Ensembles de mesurage utilisés pour les gaz liquéfiés (autres que le dioxyde de carbone) dont la température est supérieure ou égale à - 10 °C. Ensembles de mesurage normalement dévolus aux classes 0,3 ou 0,5 mais utilisés pour les liquides : - dont la température est inférieure à - 10 °C ou supérieure à 50 °C, ou - dont la viscosité dynamique est supérieure à 1000 mPa.s, ou - dont le débit en volume est au plus égal à 20 l/h.
1,5	Ensembles de mesurage utilisés pour le dioxyde de carbone liquéfié. Ensembles de mesurage utilisés pour les gaz liquéfiés dont la température est inférieure à - 10 °C.
2,5	Ensembles de mesurage utilisés pour les liquides dont la température est inférieure à - 153 °C.

3.4. Erreurs maximales tolérées

3.4.1. Sans jamais être inférieures, en valeur absolue, à l'erreur maximale tolérée sur la quantité mesurée minimale, les erreurs maximales tolérées, en plus ou en moins, sur les indications de masse sont données dans le tableau suivant :

	CLASSE D'EXACTITUDE				
	0,3	0,5	1,0	1,5	2,5
A *	0,3 %	0,5 %	1,0 %	1,5 %	2,5 %
B *	0,2 %	0,3 %	0,6 %	1,0 %	1,5 %

* voir 3.5

3.4.2. L'erreur maximale tolérée E_{min} , en plus ou en moins, sur la quantité mesurée minimale M_{min} est donnée par :

$$E_{min} = 2 \times A \times M_{min}$$

A est la valeur donnée par le tableau du paragraphe 3.4.1 pour la classe considérée.

3.5. Conditions d'application des erreurs maximales tolérées

3.5.1. Les erreurs maximales tolérées indiquées à la ligne A du tableau du point 3.4.1 s'appliquent aux ensembles de mesurage massique complets, pour tous liquides, toutes les températures, toutes les pressions et pour tous les débits pour lesquels l'approbation est demandée, ou prononcée, sans aucun ajustage entre les divers essais, lors de :

- l'approbation de modèle,
- la vérification primitive, lorsque celle-ci est effectuée en une phase, ou de la seconde phase de la vérification primitive, lorsque celle-ci est effectuée en deux phases,
- la vérification périodique,
- la vérification après réparation ou modification.

3.5.2. Les erreurs maximales tolérées indiquées à la ligne B du tableau du point 3.4.1. s'appliquent lors de :

- l'approbation de modèle d'un ensemble de mesurage massique complet, pour un liquide donné, une température donnée (stable à $\pm 2,5$ °C), une pression donnée (stable à ± 2 bar) et pour tous les débits pour lesquels l'approbation est demandée (1).
- l'approbation de modèle d'un dispositif de mesurage massique direct, ou d'un dispositif de mesurage indirect incluant un transducteur de volume, pour tous les liquides, toutes les températures, toutes les pressions et pour tous les débits pour lesquels l'approbation de l'ensemble est demandée (2) (3),
- la première phase d'une vérification primitive ou d'une vérification après réparation ou modification effectuée en deux phases (3).

(1) : Si l'ensemble de mesurage est équipé d'un dispositif d'ajustage, il suffit de vérifier que la courbe d'erreurs est à l'intérieur d'un intervalle égal à deux fois la valeur spécifiée ligne B du tableau du point 3.4.1.

(2) : Pour chaque liquide, un ajustage est autorisé, mais, dans ce cas, la décision d'approbation de modèle donne des indications sur l'aptitude du dispositif à mesurer l'ensemble des liquides sans précautions particulières.

(3) : Si l'ensemble de mesurage est équipé d'un dispositif d'ajustage, il suffit de vérifier que la ou les courbes d'erreurs sont à l'intérieur d'un intervalle égal à deux fois la valeur spécifiée ligne B du tableau du point 3.4.1.

3.5.3. Sans préjudice des dispositions du point 3.5.1, lorsque la vérification primitive en une seule phase, ou la seconde phase de la vérification primitive en deux phases d'un ensemble de mesurage destiné à mesurer plusieurs liquides est effectuée au moyen d'un seul liquide, la courbe d'erreurs doit être à l'intérieur d'un intervalle égal à deux fois la valeur spécifiée ligne B du tableau du point 3.4.1. La décision d'approbation de modèle peut fixer un décalage de l'enveloppe tolérée pour cette courbe ; elle peut également, si nécessaire, fixer une amplitude restreinte pour la courbe d'erreurs.

Cette disposition s'applique également à la vérification après réparation ou modification.

3.5.4. Pour les ensembles de mesurage massique indirect, lorsque l'indication de masse n'est pas vérifiée directement, il convient de vérifier séparément :

- le transducteur de volume,
- le transducteur de masse volumique,
- le calcul de la masse.

Dans ce cas les erreurs maximales tolérées, en plus ou en moins, sur les indications de volume délivrées à partir du transducteur de volume sont données par la ligne B du tableau du point 3.4.1 pour toutes les conditions prévues aux points 3.5.1 et 3.5.2, pour la classe considérée.

De plus, dans ce cas et pour les conditions prévues au point 3.5.2, les erreurs sur les indications de volume et sur les indications de masse volumique doivent être telles que combinées algébriquement, elles permettent le respect des erreurs maximales tolérées spécifiées ligne B du tableau du point 3.4.1. pour les indications de masse, pour chaque débit et pour la classe considérée.

3.6. Exactitude des transducteurs de masse volumique

Les indications de masse volumique délivrées à partir des transducteurs de masse volumique neufs ou réparés doivent présenter, en valeur absolue, des erreurs inférieures ou égales à celles figurant dans le tableau suivant, lors de la vérification préalable qui doit être effectuée en laboratoire.

	CLASSE D'EXACTITUDE				
	0,3	0,5	1,0	1,5	2,5
!erreur !					
!maximale !	± 1 kg/m ³		± 2	kg/m ³	± 5 kg/m ³
!tolérée !					

Ces valeurs sont multipliées par :

- . 2 lors de toute vérification ultérieure sur site,
- . 1,5 lors des vérifications périodiques, lorsque celles-ci sont effectuées en laboratoire.

Elles s'appliquent à la masse volumique prise en considération pour le calcul de la masse. Cette indication doit être disponible sur un dispositif indicateur lors des opérations de contrôle métrologique sur site. La résolution de cette indication doit être au plus égale au quart de l'erreur maximale tolérée donnée dans le tableau ci-dessus.

Lors des vérifications préalables effectuées en laboratoire, il est toléré que le contrôle porte sur une indication représentative de la masse volumique, sous réserve que la méthode de vérification mentionnée au point 4.1 donne des erreurs maximales adaptées à cette éventualité.

3.7. Exactitude du calculateur

Les spécifications suivantes s'appliquent lorsque le calculateur fait l'objet d'un contrôle séparé. Ce contrôle est obligatoire dans le cas où les indications de masse ne sont pas vérifiées directement.

Le calculateur ne doit pas introduire d'erreur supérieure, en valeur absolue, au dixième de l'erreur maximale tolérée figurant à la ligne A du tableau du point 3.4.1, sur le calcul de la masse à partir du signal représentatif du volume ou de la masse, et, le cas échéant, d'autres signaux. Toutefois, il n'est pas nécessaire que cette erreur soit inférieure à un demi-échelon d'indication de masse.

Dans le cas du mesurage massique indirect, le calculateur ne doit pas introduire d'erreur supérieure, en valeur absolue, à deux cinquièmes de la valeur figurant dans le tableau du paragraphe 3.6, pour la classe considérée, sur la mesure de la masse volumique.

3.8. Inscriptions

Chaque ensemble de mesurage, élément ou sous-ensemble, ayant fait l'objet d'une approbation de modèle doit porter, groupées de manière lisible et indélébile, soit sur le dispositif indicateur, soit sur une plaque d'identification spéciale, les mentions suivantes :

- a) la marque d'identification du constructeur ou sa raison sociale,
- b) la marque d'approbation de modèle (numéro et date de la décision d'approbation de modèle),
- c) la classe d'exactitude si elle est différente de 0,5,
- d) le numéro de série et l'année de fabrication,
- e) d'une façon générale, les indications identiques ou analogues exigées pour le mesurage volumique.

Il doit être clairement indiqué si l'instrument mesure la masse ou la masse conventionnelle de liquide.

- 3.8.1. A compter du 1er juillet 1992, les ensembles de mesurage massique non soumis au contrôle de l'Etat doivent porter, ou pouvoir afficher de façon claire, la mention :

"l'indication des masses n'est pas contrôlée par l'Etat",

ou la mention :

"l'indication des masses n'est pas soumise au contrôle de l'Etat".

Cette mention doit apparaître de façon claire et indélébile sur les dispositifs indicateurs et les documents délivrés par l'ensemble de mesurage, susceptibles d'être remis au client.

NOTE : lorsqu'elle existe, l'indication des volumes reste soumise au contrôle de l'Etat.

Par ensemble de mesurage massique soumis au contrôle de l'Etat, on entend : ensemble de mesurage massique ayant fait l'objet de la totalité des opérations suivantes (voir point IV) :

- . approbation de modèle ou autorisation de mise en service,
- . le cas échéant, vérification primitive des instruments neufs,
- . vérifications périodiques,
- . le cas échéant, vérifications après réparation ou modification.

3.8.2. A compter du 1er juillet 1992, les ensembles de mesurage massique par calcul doivent porter, sur chaque dispositif indicateur soumis au contrôle de l'Etat, la ou les mentions suivantes :

- "la valeur de la masse volumique est introduite manuellement", lorsque c'est le cas,
- "la valeur de la masse volumique est calculée conventionnellement", lorsque la masse volumique est déterminée à partir de tables ou de formules mémorisées et que la température est mesurée automatiquement par l'ensemble de mesurage.
- "la valeur de la masse volumique est calculée conventionnellement à partir d'une température introduite manuellement", lorsque c'est le cas.

Ces mentions doivent également figurer sur les documents délivrés par un dispositif imprimeur soumis au contrôle de l'Etat et susceptibles d'être remis au client.

3.9. Dispositifs de réglage et d'ajustage

Les dispositifs de réglage sont interdits.

Les dispositifs d'ajustage doivent être protégés par des scellements.

IV - OPERATIONS DE CONTROLE

4.1. Approbation de modèle

L'approbation de modèle peut être accordée pour :

- un ensemble de mesurage massique,
- un dispositif de mesurage massique,
- un calculateur, un dispositif indicateur ou un calculateur muni d'un dispositif indicateur destinés à être inclus dans un ensemble de mesurage massique.

Les approbations de modèle des éléments autres que ceux ci-dessus mentionnés, accordées pour les ensembles de mesurage volumique sont valables pour le mesurage massique, sous réserve que les erreurs maximales tolérées applicables lors de l'approbation de modèle soient inférieures ou égales à celles fixées par la présente circulaire, pour la classe d'exactitude concernée.

La décision d'approbation de modèle indique, si nécessaire, le domaine de fonctionnement du calculateur pour les signaux provenant des divers transducteurs, notamment de volume et de masse volumique. Elle mentionne aussi, lorsque nécessaire, les transducteurs de volume et de masse volumique acceptables ou certaines de leurs caractéristiques.

Il n'est pas délivré d'approbation de modèle pour un transducteur de masse volumique seul qui, cependant, doit faire l'objet d'une évaluation de modèle conformément à l'annexe I de la présente circulaire. La méthode de vérification de ce modèle de transducteur, proposée par le demandeur, doit être validée par la sous-direction de la métrologie.

4.2. Autorisation de mise en service

Un ensemble de mesurage massique incluant un dispositif de mesurage massique, direct ou indirect, dont le modèle est approuvé, ou dont les éléments sont approuvés pour le mesurage massique séparément, peut faire l'objet d'une autorisation de mise en service, dans les mêmes conditions que les ensembles de mesurage volumique.

Une autorisation de mise en service peut être accordée pour un ensemble de mesurage massique antérieurement non soumis au contrôle de l'Etat ou pour un ensemble de mesurage volumique modifié pour délivrer des indications de masse.

Les inscriptions citées au paragraphe 3.8 sont adaptées en conséquence.

4.3. Vérification primitive

La vérification primitive est effectuée en deux phases. La première phase porte au moins sur le dispositif de mesurage massique.

L'examen préalable des transducteurs de masse volumique est sanctionné par l'établissement d'un procès-verbal et l'apposition de la marque de vérification prévue à cet effet.

4.4. Vérification périodique

Sauf raison particulière, la vérification périodique est exécutée sur site.

Toutefois, la vérification des transducteurs de masse volumique peut être exécutée sur site ou en laboratoire.

Les conditions d'installation doivent permettre l'exécution de la vérification périodique sur site.

La deuxième phase de la vérification primitive ou la vérification après réparation ou modification effectuée sur le site d'utilisation tient lieu de vérification périodique.

4.5. Vérification après réparation ou modification

Selon la nature de l'intervention, la vérification après réparation ou modification est effectuée en deux phases, ou uniquement sur le site d'utilisation.

V - DISPOSITIONS ABROGEES

Les dispositions contraires à celles de la présente circulaire sont abrogées, en particulier celles de la circulaire n° 90.1.01.400.0.0 du 24 janvier 1990 relative aux ensembles de mesurage de liquides autres que l'eau munis de dispositifs électroniques.

Pour le ministre empêché,
Le directeur de l'action régionale
et de la petite et moyenne industrie,

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a final flourish, enclosed within a large, horizontal oval shape.

M. GERENTE

ANNEXE I

Evaluation des performances des ensembles de mesurage
massique directs et des transducteurs
de masse volumique

A.I.1. Spécifications

Les ensembles de mesurage massique directs et les transducteurs de masse volumique doivent satisfaire respectivement aux spécifications des points 3.4. et 3.6. de la circulaire.

De plus, le modèle doit subir les essais suivants décrits dans la circulaire n° 90.1.01.400.0.0 du 24 janvier 1990 modifiée par la circulaire n° 91.00.400.002.1 du 25 octobre 1991 relative aux ensembles de mesurage de liquides autres que l'eau munis de dispositifs électroniques :

- 1) Essai de chaleur sèche. L'essai à 55 °C est requis.
- 2) Essai de froid.
- 3) Essai cyclique en chaleur humide, pour les transducteurs destinés à une utilisation en plein air.
- 4) Essai de vibrations sinusoïdales, pour les instruments mobiles.
- 5) Essai de variations de l'alimentation électrique.
- 6) Essai de courtes interruptions d'alimentation.
- 7) Essai de salves électriques.
- 8) Essai de décharges électrostatiques.
- 9) Essai de susceptibilité électromagnétique.

Le modèle doit également subir les essais complémentaires suivants :

- 10) Essai de vibration sinusoïdales en cours de fonctionnement, pour les instruments susceptibles d'être utilisés en milieu vibrant (cf. paragraphe A.I.2).
- 11) Essai de stabilité (cf. paragraphe A.I.3).
- 12) Essai d'influence des surpressions (coup de béliet).

13) De plus, pour les transducteurs de masse volumique :

- essai de l'influence de la température du liquide,
- essai de l'influence de la pression,
- essai de l'influence des débits,
- essai de l'influence de la viscosité.

Note : pour les ensembles de mesurage massique, le 3.5 s'applique.

Performances exigées :

Pour les essais prévus aux 1), 2), 3), 4), 5) et 10), ci-dessus :

- toutes les fonctions doivent opérer comme prévu,
- toutes les indications doivent présenter des erreurs inférieures ou égales, en valeur absolue, aux valeurs figurant respectivement au point 3.4 de la circulaire pour les ensembles ou pour les dispositifs de mesurage massique direct et au tableau du point 3.6 de la circulaire pour les transducteurs de masse volumique, pour la classe considérée.

Pour les essais prévus aux 6), 7), 8) et 9) ci-dessus, la valeur absolue de la différence entre l'indication pendant l'essai et l'indication dans les conditions de référence doit être inférieure ou égale à la valeur figurant respectivement au point 3.4 de la circulaire pour les ensembles ou pour les dispositifs de mesurage massique direct et au tableau du point 3.6 de la circulaire pour les transducteurs de masse volumique, pour la classe considérée.

Pour l'essai prévu au 11) ci-dessus voir le point A.I.3.

Pour les grandeurs d'influences prévues au 12) et au 13) ci-dessus, le fabricant doit donner les limites dans lesquelles l'équipement satisfait aux exigences de la présente circulaire.

Notes :

- 1) Dans la mesure du possible les essais sont effectués sur l'instrument ou le transducteur complet.

Lorsque les dimensions ou la configuration de l'instrument ou du transducteur ne permettent pas le respect de cette disposition, les essais sont effectués sur un équipement permettant une simulation représentative du fonctionnement normal de l'instrument ou du transducteur.

- 2) Pour les essais de chaleur sèche (1) et de froid (2) (essais concernant l'atmosphère ambiante), la température du liquide doit être maintenue aussi proche que possible de 20 °C.

A.I.2. Essais de vibrations sinusoïdales en cours de fonctionnement

Les essais sont menés conformément à la fiche d'essai A.2.4.4 de la circulaire du 24 janvier modifiée précitée, mais avec les adaptations suivantes :

- le niveau maximal d'accélération est 1 m.s^{-2} ,
- la spécification s'applique à l'instrument en cours de fonctionnement lors de l'application du facteur d'influence.

A.I.3. Essai de stabilité

L'essai consiste à vérifier la stabilité des indications à la suite d'une utilisation prolongée, ou à la suite du changement de liquide mesuré, les différents liquides étant choisis parmi ceux prévus en utilisation normale.

Le mode opératoire est le suivant :

- 1) Le cas échéant, ajuster l'équipement soumis à l'essai pour un liquide choisi par le fabricant.
- 2) Sans modifier l'ajustage, vérifier que l'équipement satisfait aux exigences concernant l'exactitude pour tous les liquides prévus en utilisation normale.
- 3) Sans modifier l'ajustage, faire fonctionner l'équipement pendant 100 heures, à un débit compris entre le débit maximal et 0,8 fois cette valeur, en utilisant, si possible, l'ensemble des liquides prévus.
- 4) Après cette période et sans modifier l'ajustage, effectuer les essais nécessaires à l'évaluation de la dérive des indications, pour le liquide prévu au 1) ci-dessus, et pour un volume d'essai au moins égal à 10 fois la quantité mesurée minimale.

Note : la disposition sur le volume s'applique aux ensembles de mesurage massique directs.

- 5) La dérive des indications, sans ajustage, doit être inférieure, en valeur absolue, à la moitié de la valeur figurant respectivement au point 3.4 de la circulaire pour les ensembles ou pour les dispositifs de mesurage massique direct et au tableau du point 3.6 de la circulaire pour les transducteurs de masse volumique, pour la classe considérée.

A l'issue de l'essai, toutes les fonctions doivent opérer comme prévu.

A N N E X E I I

Moyens de vérification

A.II.1 - REGLE GENERALE

L'incertitude maximale sur la détermination des erreurs sur les indications délivrées par les ensembles de mesurage massiques doit être inférieure ou égale, respectivement au cinquième et au tiers de l'erreur maximale tolérée, en approbation de modèle et lors des autres opérations de contrôle.

L'estimation des incertitudes doit être effectuée selon les méthodes de calcul en vigueur au Bureau national de métrologie (BNM) avec $k = 2$ (voir application ci-après).

A.II.2 - VERIFICATION AU MOYEN D'UN INSTRUMENT DE PESAGE

Lors des vérifications d'ensembles de mesurage massique au moyen d'un instrument de pesage les règles suivantes doivent être respectées.

2.1. Estimation des incertitudes

Les considérations ci-après n'excluent pas l'existence et la prise en considération d'autres causes d'incertitudes que celles mentionnées. On peut s'interroger sur les risques de pertes, d'évaporation, ou sur l'influence du vent, sur un pont-basculé par exemple.

Les conclusions de la vérification de l'instrument de pesage utilisé, et, si nécessaire, les erreurs relevées à cette occasion, doivent pouvoir être considérées valides lors de la vérification de l'ensemble de mesurage massique.

En général, la vérification nécessite l'utilisation d'un récipient jouant le rôle de la tare.

La masse (M) du liquide est donnée par la différence des masses du récipient plein (M_2) et du récipient vide (M_1)

$$M = M_2 - M_1$$

La règle de composition des variances nous permet d'écrire :

$$\text{var } M = \text{var } M_2 + \text{var } M_1$$

Le résultat d'une pesée numérotée j est en fait :

$$M_j = M_{jv} + E \pm i$$

- avec :
- M_j Résultat lu sur l'instrument de pesage,
 - M_{jv} Masse étalon supposée parfaitement connue,
 - E erreur de l'instrument de pesage,
 - i incertitude globale sur l'estimation de l'erreur de l'instrument de pesage.

La variance de M_j est donnée par :

$$\text{var } M_j = \text{var } E_j + \text{var } i_j$$

Si l'on ne considère que les incertitudes relatives à l'étalonnage de l'instrument de pesage, l'incertitude relative est alors donnée par ($k = 2$) :

$$I = \frac{2 (\text{var } E_1 + \text{var } E_2 + \text{var } i_1 + \text{var } i_2)^{\frac{1}{2}}}{M}$$

Deux cas se présentent alors :

- A) l'incertitude recherchée peut être respectée en considérant que l'instrument de pesage satisfait simplement aux exigences réglementaires concernant son exactitude (respect des erreurs maximales tolérées),
- B) l'incertitude recherchée nécessite un étalonnage (relevé exact des erreurs de justesse), de l'instrument de pesage, aux charges proches de celles mesurées lors de la vérification de l'ensemble de mesurage massique, et une estimation de l'erreur de fidélité.

2.1.1. Cas A (simple vérification de l'instrument de pesage)

On considère alors, que l'incertitude sur une pesée est égale à l'erreur maximale tolérée (EMT) sur l'instrument de pesage.

La variance de l'erreur est alors considérée donnée par :

$$\text{var } E = \left[\frac{\text{EMT}}{3} \right]^2$$

Note : selon les règles en vigueur au BNM, la variance est prise égale au carré du tiers de l'amplitude de l'incertitude.

EXEMPLE :

Soit un pont-bascule de portée maximale 50 t et dont l'échelon de vérification e est égale à 10 kg.

La tare utilisée a une masse de 5 t. Le récipient plein pèse 15 t (charge utile 10 t).

Dans l'exemple, on considère que l'incertitude sur l'estimation de l'erreur de l'instrument de pesage se résume à la tolérance sur les masses étalons utilisées pour la vérification des instruments de pesage, soit le tiers de l'erreur maximale tolérée sur l'instrument.

$$\text{var } i = \left[\begin{array}{c} \text{EMT} \\ \text{---} \\ 3 \times 3 \end{array} \right]^2$$

Nous avons, pour la classe de précision moyenne et pour les instruments en service :

- à 5 t : EMT = ± 1 e (échelon de vérification)
- à 15 t : EMT = ± 2 e

NOTE : bref rappel sur les EMT applicables aux instruments de pesage en service.

Pour la classe III (précision moyenne).

Min à 500 e inclus	: EMT = ± 1 e
500 e exclus à 2 000 e inclus	: EMT = ± 2 e
2 000 e exclus à Max	: EMT = ± 3 e

Pour la classe II (précision fine), dans le tableau ci-dessus, remplacer 500 par 5 000 et 2 000 par 20 000.

La variance de la masse M est donc :

$$\text{var } M = \left(\frac{e}{3}\right)^2 + \left(\frac{e}{9}\right)^2 + \left(\frac{2e}{3}\right)^2 + \left(\frac{2e}{9}\right)^2 = \left(\frac{e}{9}\right)^2 \times 50$$

Pour $k = 2$, l'incertitude relative, en pour cent, est donc :

$$I = \frac{2 (\text{var } M)^{\frac{1}{2}}}{M} \times 100$$

soit

$$I = \frac{2 \times 100 \times e \sqrt{50}}{9 \times 10\,000} = 0,16 \%$$

Si les autres causes d'incertitudes sont négligeables, ce pont-basculé peut être utilisé, par exemple, pour :

- l'approbation de modèle d'un ensemble de mesurage massique de classe 1,0,
- les autres opérations de contrôle pour un ensemble de mesurage massique de classe 0,5.

2.1.2. Cas B (instrument de pesage étalonné)

Les résultats délivrés (M lue) par l'instrument de pesage sont corrigés en fonction de son erreur E de justesse à la charge considéré.

$$M = M_{\text{lue}} - E$$

La variance de l'erreur se résume alors à celle résultant de l'erreur de fidélité. Soit s l'écart-type estimé des mesures ayant permis la détermination de l'erreur de justesse.

La variance de M_j est alors donnée par :

$$\text{var } M_j = s^2 + \text{var } i$$

2.2. Correction de la poussée de l'air

Le récipient utilisé pour le mesurage de la masse de liquide peut être ouvert ou fermé. Par fermé on entend que la phase gazeuse susceptible de se former au-dessus du liquide ne communique pas avec l'atmosphère.

Comme deux pesées sont effectuées, il serait possible de considérer quatre combinaisons. Seules les combinaisons correspondant à la pratique sont considérées ci-après, à savoir :

- récipient pesé à vide, ouvert, puis plein, ouvert,
- récipient pesé à vide, fermé, puis plein, fermé.

Préalablement à la considération de ces deux cas, remarquons qu'un instrument de pesage donne la masse des corps dont la masse volumique est égale à $8\,000 \text{ kg/m}^3$ et la masse conventionnelle des autres corps. Cette considération est valable pour une pesée. Si on opère par différence de résultats de pesées, la notion de masse conventionnelle n'est pas la même, suivant que le récipient est ouvert ou fermé.

2.2.1. Récipient vide, ouvert et plein, ouvert

La différence des pesées effectuée est égale à la masse conventionnelle au sens traditionnel.

La masse est égale à cette différence multipliée par un facteur de correction donné par la table jointe.

2.2.2. Récipient vide, fermé et plein, fermé

Dans ce cas, caractérisé par le fait que la poussée d'Archimède est identique pour les deux pesées, en première approximation, la différence des résultats des pesées peut être assimilée à la masse.

En toute rigueur, nous avons l'équation suivante :

$$M = 0,99985 (M_2 - M_1)$$

avec

M : masse du liquide

$M_2 - M_1$: différence des pesées.

T A B L E

Masse en fonction de la masse conventionnelle

Dans le cas de pesées récipient vide ouvert et récipient plein ouvert, on passe de la masse à la masse conventionnelle, et inversement, par la formule suivante :

$$M = M_c \cdot F$$

Avec :

M : masse

M_c : masse conventionnelle

F : facteur de conversion donné par la table ci-dessous.

masse volumique du liquide (kg/m ³)	facteur de correction (F)
501,1 à 522,8	1,0022
522,9 à 546,5	1,0021
546,6 à 572,5	1,0020
572,6 à 601,1	1,0019
601,2 à 632,6	1,0018
632,7 à 667,7	1,0017
667,8 à 706,9	1,0016
707,0 à 751,0	1,0015
751,1 à 801,0	1,0014
801,1 à 858,2	1,0013
858,3 à 924,1	1,0012
924,2 à 1 001,0	1,0011
1 001,1 à 1 091,9	1,0010
1 092,0 à 1 201,0	1,0009
1 201,1 à 1 334,3	1,0008
1 334,4 à 1 500,9	1,0007
1 501,0 à 1 715,2	1,0006
1 715,3 à 2 000,9	1,0005