
**Analyse des gaz — Préparation des
mélanges de gaz pour étalonnage à l'aide
de méthodes volumétriques
dynamiques —**

Partie 1:

Méthodes d'étalonnage

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

*Gas analysis — Preparation of calibration mixtures using dynamic
volumetric methods —*

Part 1: Methods of calibration

ISO 6145-1:2003

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e0a4abd5-2757-4844-87f9-62ed4b3c493/iso-6145-1-2003>



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 6145-1:2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e0a4abd5-2757-4844-87f9-62ed4b3c493/iso-6145-1-2003)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e0a4abd5-2757-4844-87f9-62ed4b3c493/iso-6145-1-2003>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2003

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

Version française parue en 2008

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Méthodes d'étalonnage	2
4.1 Généralités	2
4.2 Description des dispositifs de mesure primaires ou potentiellement primaires	4
4.3 Mesures sur le mélange final	12
5 Techniques de préparation des mélanges de gaz étalonnés par les méthodes décrites dans l'Article 4	14
5.1 Généralités	14
5.2 Pompes volumétriques (voir l'ISO 6145-2 ^[3]).....	15
5.3 Injection continue (voir l'ISO 6145-4 ^[4]).....	15
5.4 Capillaire (voir l'ISO 6145-5 ^[5]).....	15
5.5 Orifices critiques (voir l'ISO 6145-6 ^[6]).....	16
5.6 Régulateurs thermiques de débit-masse (voir l'ISO 6145-7 ^[7]).....	17
5.7 Diffusion (voir l'ISO 6145-8 ^[8]).....	17
5.8 Saturation (voir l'ISO 6145-9 ^[9]).....	17
5.9 Perméation (voir l'ISO 6145-10 ^[10]).....	18
Annexe A (normative) Mesure du volume par pesée de la teneur en eau	19
Annexe B (informative) Description des dispositifs secondaires à étalonner par rapport aux dispositifs primaires	23
Bibliographie	32

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 6145-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 158, *Analyse des gaz*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 6145-1:1986), dans laquelle les incertitudes évaluées dans les méthodes et les techniques d'étalonnage sont à présent associées par la racine carrée de la somme des carrés, de manière à former une incertitude type relative combinée. Par rapport à l'édition précédente, la partie relative aux injections périodiques a été retirée (application limitée).

L'ISO 6145 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Analyse des gaz — Préparation des mélanges de gaz pour étalonnage à l'aide de méthodes volumétriques dynamiques*:

- *Partie 1: Méthodes d'étalonnage*
- *Partie 2: Pompes volumétriques*
- *Partie 4: Méthode d'injection continue*
- *Partie 5: Dispositifs d'étalonnage par capillaires*
- *Partie 6: Orifices critiques*
- *Partie 7: Régulateurs thermiques de débit-masse*
- *Partie 9: Méthode par saturation*
- *Partie 10: Méthode par perméation*

La diffusion fera l'objet d'une future Partie 8 de l'ISO 6145. La Partie 3 de l'ISO 6145, intitulée *Injections périodiques dans un flux gazeux*, a été retirée.

Introduction

La présente partie de l'ISO 6145 fait partie d'une série de normes présentant différentes méthodes volumétriques dynamiques, utilisées pour préparer des mélanges de gaz pour étalonnage.

Dans les méthodes volumétriques dynamiques, un gaz A est introduit au volume ou débit massique, q_A dans un gaz de complément B à débit constant, q_B . Le gaz A peut être un constituant pour étalonnage pur, i , ou un mélange de i dans A.

La fraction volumique, $\varphi_{i,M}$, de i dans le mélange final de gaz pour étalonnage est donnée par l'équation suivante:

$$\varphi_{i,M} = \varphi_{i,A} \left(\frac{q_A}{q_A + q_B} \right)$$

où $\varphi_{i,A}$ est la fraction volumique ou massique du composant, i , dans le prémélange de gaz A et est déjà connue d'après sa méthode de préparation. Dans cette équation, il est admis que, $\varphi_{i,B}$, la concentration du composant, i , dans le gaz B, est nulle.

L'introduction du gaz A peut être continue (par tube à perméation, par exemple) ou pseudo-continue (pompe volumétrique, par exemple). Il convient d'insérer une chambre de mélange dans le système, avant l'analyseur. Elle est particulièrement importante dans le cas d'une introduction pseudo-continue. Le débit du composant A est mesuré directement en termes de volume ou de masse, ou indirectement par la mesure de la variation d'une propriété physique.

ISO 6145-1:2003

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e0a4abd5-2757-4844-87f9-62002e491a04/iso-6145-1-2003>

Les techniques de préparation volumétriques dynamiques produisent un débit continu de mélanges de gaz pour étalonnage dans l'analyseur, mais ne permettent en général pas la constitution d'une réserve par stockage sous pression.

Les principales techniques de préparation des mélanges sont les suivantes:

- a) pompes volumétriques;
- b) injection continue;
- c) capillaire;
- d) orifices critiques;
- e) régulateurs thermique de débit-masse;
- f) diffusion;
- g) saturation;
- h) perméation;
- i) génération électrochimique.

Dans tous les cas, et plus particulièrement si des mélanges très dilués sont concernés, les matériaux de l'appareillage sont choisis en fonction de leur résistance à la corrosion et de leur faible capacité d'absorption (du verre, du PTFE ou de l'acier inoxydable, en général). Néanmoins, il convient de souligner que ces phénomènes ont moins d'importance pour les méthodes volumétriques dynamiques que pour les méthodes statiques.

De nombreuses variantes ou combinaisons des principales techniques peuvent être considérées, et des mélanges de plusieurs constituants peuvent également être préparés par opérations successives.

Certaines de ces techniques permettent de calculer la concentration finale du mélange de gaz à partir de données physiques de base (les débits massiques de diffusion ou le débit au travers de capillaires, par exemple). Toutefois, étant donné que toutes les techniques sont dynamiques et reposent sur des débits stables, la présente partie de l'ISO 6145 met l'accent sur l'étalonnage des techniques par mesurage des débits individuels ou de leurs rapports, ou par détermination de la composition du mélange final.

La méthode la plus efficace pour déterminer l'incertitude de la composition du mélange de gaz pour étalonnage est la comparaison avec un mélange de gaz certifié et traçable suivant les normes internationales. Certaines des techniques qui peuvent être utilisées pour préparer une gamme de mélanges de gaz pour étalonnage peuvent nécessiter plusieurs mélanges de gaz étalons pour vérifier leur performance sur toute la gamme. La technique volumétrique dynamique utilisée comporte un niveau d'incertitude. Les informations relatives à la composition du mélange final dépendent de la méthode d'étalonnage et de la technique de préparation.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 6145-1:2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e0a4abd5-2757-4844-87f9-62ed4b3c493/iso-6145-1-2003)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e0a4abd5-2757-4844-87f9-62ed4b3c493/iso-6145-1-2003>

Analyse des gaz — Préparation des mélanges de gaz pour étalonnage à l'aide de méthodes volumétriques dynamiques —

Partie 1: Méthodes d'étalonnage

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 6145 spécifie les méthodes d'étalonnage impliquées dans la préparation des mélanges de gaz par des techniques volumétriques dynamiques. Elle présente également brièvement une liste non exhaustive d'exemples de techniques volumétriques dynamiques, décrites plus en détails dans d'autres parties de l'ISO 6145.

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 6142, *Analyse des gaz — Préparation des mélanges de gaz pour étalonnage — Méthode gravimétrique*

ISO 6143, *Analyse des gaz — Méthodes comparatives pour la détermination et la vérification de la composition des mélanges de gaz pour étalonnage*

ISO 7504, *Analyse des gaz — Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 7504 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

incertitude de mesure

paramètre, associé au résultat d'une mesure, caractérisant la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande

NOTE 1 Les valeurs des incertitudes statistiques individuelles présentes dans certaines méthodes et techniques de la présente partie de l'ISO 6145 sont combinées aux valeurs des incertitudes systématiques d'une racine carrée de la somme des carrés pour fournir une incertitude combinée relative ou, dans les cas d'incertitude relative élargie, par application du coefficient d'élargissement «2».

NOTE 2 À l'instar de la Référence [1] de la Bibliographie, l'incertitude de la composition d'un mélange est exprimée en tant qu'incertitude relative élargie.

4 Méthodes d'étalonnage

4.1 Généralités

4.1.1 L'incertitude de la composition i, M du composant i d'un mélange pour étalonnage M dépend souvent de

- a) l'incertitude de la méthode d'étalonnage,
- b) la fréquence à laquelle elle est appliquée,
- c) la stabilité des dispositifs de contrôle impliqués dans la technique de préparation dynamique.

Pour évaluer l'incertitude de l'ensemble du mode opératoire, les variations instantanées et les dérives possibles des principaux paramètres de la technique lors de l'étalonnage doivent être prises en compte.

Selon la technique de préparation des mélanges de gaz utilisés, l'étalonnage peut être réalisé au moyen de l'une des méthodes suivantes:

- mesure du débit (massique ou volumique);
- méthode de comparaison;
- méthode du traceur;
- analyse chimique directe.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Le Tableau 1 illustre l'applicabilité de chaque méthode d'étalonnage en fonction des différentes techniques de préparation.

[ISO 6145-1:2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e0a4abd5-2757-4844-87f9-62ed4b3c493/iso-6145-1-2003)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e0a4abd5-2757-4844-87f9-62ed4b3c493/iso-6145-1-2003>

Tableau 1 — Méthodes d'étalonnage applicables aux techniques de préparation

Techniques de préparation	Méthodes d'étalonnage			
	Comparaison avec l'ISO 6143 ^a	Mesure du débit ^a	Traceur ^a	Analyse directe
Pompes volumétriques	+	—	+	Peut être applicable; selon la nature des composants
Injection continue	+	—	+	
Capillaire	+	+	+	
Orifices critiques	+	+	+	
Régulateurs thermiques de débit-masse	+	+	+	
Diffusion	+	—	—	
Saturation	+	—	—	
Perméation	+	—	—	

^a Les signes plus (+) font référence à la mesure d'un débit volumique. En principe, la mesure du débit peut également être réalisée pour les méthodes d'injection continue, les méthodes de diffusion et les méthodes de perméation. Ici, les débits-masses sont mesurés plutôt que les débits volumiques. Pour les tubes à diffusion et à perméation, le débit-masse peut être mesuré de manière continue à l'aide d'une balance à suspension.

4.1.2 D'une manière générale, les deux catégories ci-dessous caractérisent les principes des méthodes.

- Principes dans lesquels les débits des composants des gaz sont mesurés par volume ou par masse, et la concentration dans le mélange final est calculée à partir du débit. Différentes techniques peuvent être utilisées pour les composants individuels d'un mélange, qui peuvent être étalonnées par différentes méthodes. Toutefois, le principe des mesures des débits individuels est toujours en vigueur.
- Principes fonctionnant directement sur les mélanges finals.

Étant donné que différents principes sont impliqués, ils sont donnés séparément dans chaque méthode individuelle.

Étant donné que les méthodes d'étalonnage reposent sur différents principes et que l'appareillage utilisé pour la réalisation des débits de gaz est différent, les teneurs peuvent être exprimées en unités différentes.

Pour les étalonnages utilisant la méthode de comparaison, la teneur est exprimée en fraction molaire ou en concentration molaire, car la plupart des mélanges de gaz pour étalonnage, utilisés dans le cadre de la comparaison, si possible, sont décrits de cette manière.

L'utilisation des techniques reposant sur le débit volumique donne, dans le premier exemple, des fractions volumiques. Il est possible de recalculer ces données en fractions molaires, mais cela augmente l'incertitude à cause de l'incertitude des données de masse volumique et des données de volume molaire. Dans ce cas, l'expression en fractions volumiques est préférée.

L'étalonnage par la méthode gravimétrique permet d'obtenir la fraction massique de chacun des composants dans les mélanges gazeux. Il est possible de recalculer ces fractions en fractions molaires en divisant par les masses atomiques ou masses molaires respectives. L'expression en fraction molaire est alors préférée.

Dans certaines circonstances, le débit total ne peut pas être considéré comme la somme de deux débits individuels q_A et q_B , qui ont été mesurés séparément. Ces problèmes peuvent être le résultat d'écarts par rapport aux lois des gaz parfaits ou de modifications des conditions telles que contre-pression ou viscosité résultant du mélange de deux débits, par exemple. Il est possible de prévoir assez précisément les écarts par rapport au comportement parfait, et les autres incertitudes peuvent être limitées en apportant une attention particulière à la conception de l'appareillage.

4.1.3 La mesure de débit est normalement réalisée par l'une des méthodes suivantes:

- a) dispositifs primaires, reposant sur des principes absolus, par exemple:
 - méthode gravimétrique;
- b) méthodes pouvant être considérées comme potentiellement primaires lorsque le volume du dispositif est déterminé en pesant le volume d'eau approprié ou de tout autre liquide adéquat de masse volumique plus élevée:
 - piston scellé au mercure,
 - clepsydre;
- c) de nombreux autres dispositifs disponibles pour mesurer le débit volumique, dont certains sont répertoriés ci-dessous (ces dispositifs sont étalonnés à l'aide de l'une des méthodes primaires ou potentiellement primaires ci-dessus):
 - débitmètre à film de savon,
 - compteur à gaz humide,
 - capteurs thermiques de débit-masse,
 - débitmètre à flotteur.

Les débitmètres à film de savon et à piston scellé au mercure utilisent un principe commun, celui de mesurer le temps le déplacement d'une bulle de savon ou d'un piston entre deux points définis avec précaution soit électroniquement, soit par observation, au moyen d'un cathétomètre, par exemple. Le volume entre ces points peut être déterminé par remplissage avec de l'eau, qui est ensuite pesée (voir Annexe A).

Le compteur à gaz humide est un dispositif d'intégration indiquant le volume total de gaz qui le traverse (le compteur à gaz par voie sèche, fréquent en environnement domestique, comporte une propriété d'intégration analogue, mais il n'a pas été retenu, car moins précis). Le débitmètre à flotteur est un dispositif d'indication continue. Le capteur thermique de débit-masse mesure le débit massique en fonction d'un flux de chaleur.

NOTE Ces dispositifs sont décrits en détail dans l'Annexe B.

4.1.4 Ces dispositifs de mesure du débit sont étalonnés à l'aide de l'une des méthodes primaires ou potentiellement primaires suivantes:

- a) méthode gravimétrique;
- b) piston scellé au mercure;
- c) clepsydre.

La méthode gravimétrique permet de mesurer la masse du gaz, passant à débit constant par le dispositif à étalonner pendant une durée déterminée. Le piston scellé au mercure injecte un volume déterminé de gaz pendant une durée mesurée dans le dispositif à étalonner. La clepsydre est un dispositif permettant de créer un débit constant et déterminé de gaz, agissant comme un gazomètre mécanique.

La clepsydre et la méthode gravimétrique peuvent être utilisées directement, le cas échéant, pour étalonner les diverses techniques de préparation, mais les informations sont plus communément transférées par l'intermédiaire de l'un des dispositifs de mesure du débit.

STANDARD PREVIEW
(standardsiteh.eu)

ISO 6145-1:2003

4.2 Description des dispositifs de mesure primaires ou potentiellement primaires

62ed4b3c493/iso-6145-1-2003

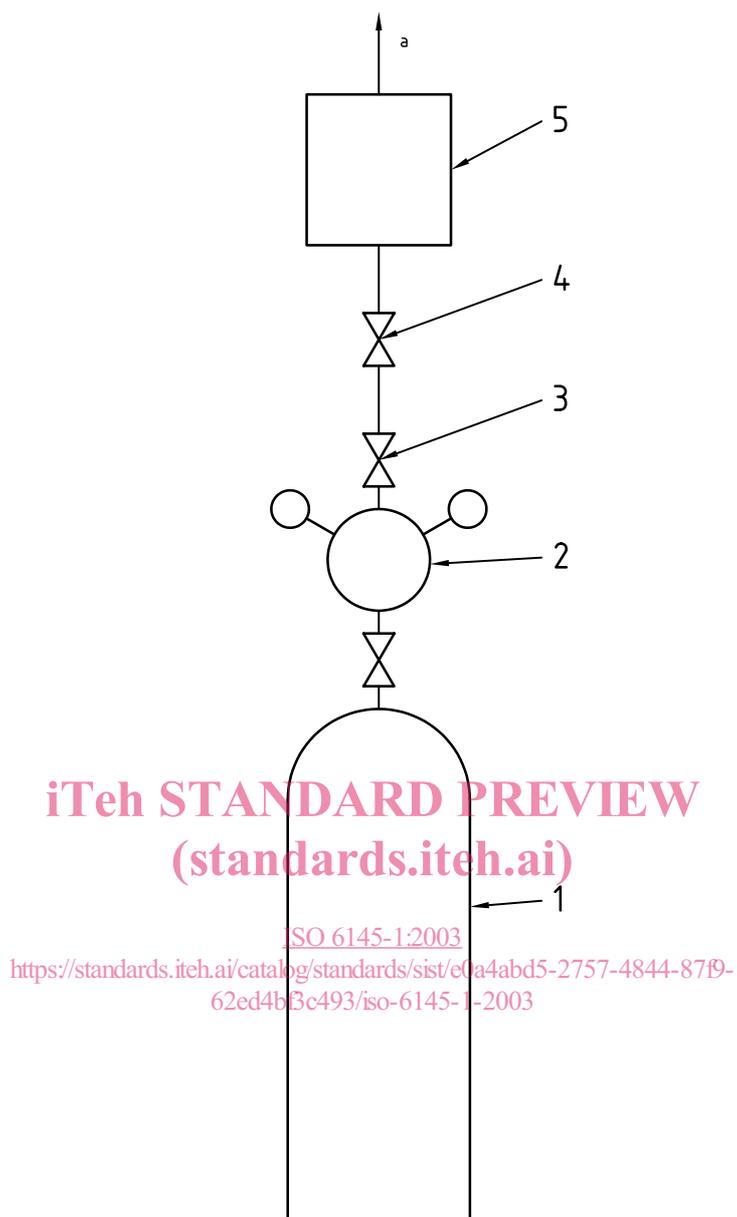
4.2.1 Méthode gravimétrique

4.2.1.1 Principe

Le gaz s'écoule d'une bouteille à débit constant au travers du dispositif à étalonner. L'écoulement dure suffisamment longtemps pour que la perte de masse de la bouteille soit mesurée précisément. Le mode opératoire fournit des données en termes de débit-masse, qui peuvent ensuite être converties en débit molaire ou, avec l'incertitude évaluée, en débit volumique.

La bouteille de gaz et le dispositif de mesure du débit sont configurés comme cela est illustré à la Figure 1. La bouteille (1) est équipée d'un régulateur de pression (2), à la sortie duquel une vanne pointeau de précision (3) et une vanne d'arrêt (4) sont reliées au dispositif à étalonner (5). Le volume mort entre la vanne pointeau et la vanne d'arrêt est réduit au minimum par l'utilisation de tubes et de garnitures de diamètre interne aussi faible que possible, tout en restant compatible avec les débits utilisés. La température et la pression du gaz sont mesurées à l'entrée du dispositif à étalonner.

La vanne de la bouteille est ouverte, le régulateur de pression réglé à 100 kPa (1 bar), par exemple, et la vanne pointeau ajustée sur le débit souhaité. Lorsque les conditions sont jugées stables, la vanne d'arrêt est fermée et la canalisation déconnectée à la sortie de cette vanne. La bouteille, le régulateur, la vanne pointeau et la vanne d'arrêt sont pesés comme un seul élément. La canalisation est reconnectée et ouverte pour instaurer le même débit. Une fois le gaz écoulé pendant une période suffisamment longue pour mesurer précisément la masse utilisée, la vanne d'arrêt est fermée et la bouteille, le régulateur, la vanne pointeau et la vanne d'arrêt sont pesés dans les mêmes conditions que précédemment. Au cours de cette période, le débit de gaz est mesuré précisément en calculant en premier lieu le volume de gaz en fonction du changement de masse, puis le débit en fonction du volume et du temps.



Légende

- 1 bouteille
- 2 régulateur de pression
- 3 vanne pointeau
- 4 vanne d'arrêt
- 5 dispositif à étalonner
- a Vers l'évent.

Figure 1 — Méthode gravimétrique

4.2.1.2 Incertitude de mesure

4.2.1.2.1 Incertitude de pesage

La préparation gravimétrique des mélanges est décrite dans l'ISO 6142. Selon les modes opératoires de l'ISO 6142, il est possible de supposer que la masse de gaz utilisée dans un essai peut être pesée en fonction d'une incertitude type relative de 2×10^{-4} (c'est-à-dire 20 g de gaz prélevé d'une bouteille de 10 kg dont la masse avant et après l'essai peut être mesurée avec une incertitude de 2 mg, donnant une incertitude type relative de $2\sqrt{2}/20 \times 10^{-3}$, c'est-à-dire $1,4 \times 10^{-4}$).

4.2.1.2.2 Incertitude des flux instables

Cette incertitude peut être ignorée, à condition que la bouteille et ses dispositifs de contrôle du débit soient sous des conditions de pression de gaz identiques au même degré pour les deux pesées. Toutefois, si le débit de gaz est stoppé avant pesée, la canalisation entre la vanne pointeau et la vanne d'arrêt se trouve mise à la pression définie par le régulateur; cela peut créer un à-coup de surpression à la reprise du débit de gaz. L'incertitude provoquée par cette surpression est la quantité de gaz nécessaire à la pressurisation du volume entre la vanne pointeau et la vanne d'arrêt par rapport à la quantité de gaz écoulé. Si 2 ml d'espace libre sont mis sous pression à 1 bar dans un essai au cours duquel 20 g de méthane s'écoulent, l'incertitude type est de 7×10^{-5} .

Pour réduire les effets de la surpression, qui peuvent être à l'origine d'oscillations du flux, stabiliser le débit de gaz avant de procéder aux lectures. Cela permet d'éviter les incertitudes.

4.2.1.2.3 Incertitude de conversion de la masse en volume

La température, la pression, le coefficient de compression (Z) et la masse molaire du gaz ont un impact sur l'incertitude de conversion de la masse en volume. La mesure de la température avec une incertitude de $0,05 \text{ }^\circ\text{C}$ et de la pression jusqu'à 10 Pa (0,1 mbar) représente respectivement des incertitudes types relatives de $1,7 \times 10^{-4}$ et de 10^{-4} . Les coefficients de compression sont habituellement indiqués à quatre décimales, ce qui implique une incertitude de 10^{-4} , et les masses molaires sont connues avec une exactitude suffisante pour ne pas avoir d'impact significatif. L'incertitude type relative n'est donc pas supérieure à $2,2 \times 10^{-4}$.

4.2.1.2.4 Incertitude due à la variation du débit

Si le dispositif à étalonner mesure de petits débits ou volumes instantanés comparés au volume prélevé de la bouteille, les variations du débit contribuent à l'incertitude.

La qualité du régulateur de pression et celle de la vanne pointeau doivent garantir une précision du débit à 0,2 %, outre la surpression du débit initial (voir 4.2.1.2.2), mais il convient de les contrôler pour chaque installation. Ce niveau de contrôle du débit représente une incertitude type relative 2×10^{-3} .

4.2.1.2.5 Incertitude de mesure du temps

La durée pendant laquelle le gaz s'écoule à partir de la bouteille peut être mesurée à l'aide d'un chronomètre électronique, avec une incertitude type relative de 2×10^{-4} .

NOTE L'incertitude de la mesure du temps dépend généralement de la durée de déchargement. Le chronomètre peut être très précis, mais si le déclenchement et l'arrêt sont manuels, l'incertitude de mesure du temps est de l'ordre de $\pm 0,2 \text{ s}$, ce qui nécessite un temps de déchargement de 1 000 s pour atteindre l'incertitude type stipulée.

4.2.1.2.6 Incertitude type relative combinée

La combinaison des incertitudes types décrites de 4.2.1.2.1 à 4.2.1.2.5 se présente comme suit:

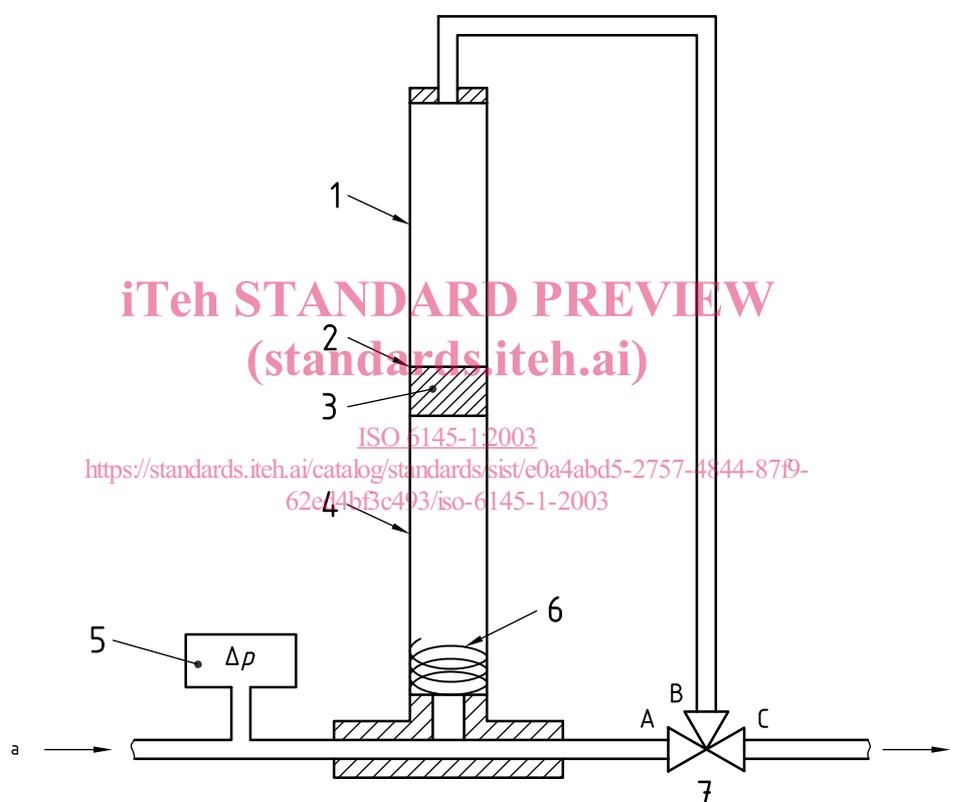
- pesage 2×10^{-4}
- transitoires de flux 7×10^{-5}

— masse en volume	$2,2 \times 10^{-4}$
— variation du débit	2×10^{-3}
— chronométrage	2×10^{-4}
— incertitude type relative combinée	$2,0 \times 10^{-3}$

4.2.2 Débitmètre à piston scellé au mercure

4.2.2.1 Principe

Un tube de mesure en verre (voir Figure 2) de diamètre et d'uniformité connus est placé verticalement dans une boîte isotherme avec régulation de température. La température reste constante à $\pm 0,02$ °C près.



Légende

1	cellule photo-électrique capteur 2 (premier volume)	5	capteur de pression
2	cellule photo-électrique capteur 3 (second volume)	6	ressort
3	piston	7	valve à 3 voies (côtés A, B, C)
4	cellule photo-électrique capteur 1 (début du comptage)		
a	Flux entrant.		
b	Vers l'évent.		

Figure 2 — Débitmètre à piston scellé au mercure

Le tube de mesure est divisé en un certain nombre de sections par des cellules photo-électriques faisant office de capteurs, et le volume réel entre deux cellules photoélectriques adjacentes est déterminé par remplissage avec de l'eau, puis pesage (voir Annexe A). Il est possible d'obtenir une plus grande exactitude de l'étalonnage à l'aide d'un liquide de masse volumique plus élevée.