

NORME
INTERNATIONALE

ISO
20765-5

Première édition
2022-04

**Gaz naturel — Calcul des propriétés
thermodynamiques —**

**Partie 5:
Calcul de la viscosité, du coefficient
de Joule-Thomson et de l'exposant
isentropique**

*Natural gas — Calculation of thermodynamic properties —
Part 5: Calculation of viscosity, Joule-Thomson coefficient, and
isentropic exponent*

[ISO 20765-5:2022](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/40da55eb-3b56-4b18-8284-eea728f04aa0/iso-20765-5-2022)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/40da55eb-3b56-4b18-8284-eea728f04aa0/iso-20765-5-2022>



Numéro de référence
ISO 20765-5:2022(F)

© ISO 2022

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 20765-5:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/40da55eb-3b56-4b18-8284-eea728f04aa0/iso-20765-5-2022>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2022

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
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 Termes et définitions	1
4 Contexte	1
5 Viscosité, η	3
5.1 Viscosité en fonction de la température, de la pression et de la composition	3
5.2 Viscosité en fonction de la température et de la masse volumique	6
6 Autres propriétés	7
6.1 Préambule	7
6.2 Coefficient de Joule-Thomson, μ	8
6.3 Exposant isentropique, κ	9
6.4 Vitesse du son, W	11
7 Exemples de calculs	11
8 Conclusions	12
9 Compte rendu des résultats	12
Annexe A (informative) Symboles et unités	13
Annexe B (informative) Exemple de fonction de viscosité LBC	14
Annexe C (informative) Exemple de routine de conversion des fractions molaires CV, RD et CO_2 en mélange C_1-C_3-N_2-CO_2 équivalent	16
Annexe D (informative) Viscosité du méthane	17
Bibliographie	18

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 (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée 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. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant : www.iso.org/iso/fr/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 193, *Gaz naturel*, sous-comité SC 1, *Analyse du gaz naturel*, en collaboration avec le Comité Européen de Normalisation (CEN) Comité Technique CEN/TC 238, *Gaz d'essai, pressions d'essai, catégories d'appareils et types d'appareils à gaz*, conformément à l'accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Une liste de toutes les parties de la série ISO 20765 se trouve sur le site web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Introduction

Le présent document fournit des méthodes simplifiées pour le calcul de la viscosité (dynamique), du coefficient de Joule-Thomson et de l'exposant isentropique, destinées à être utilisées dans les calculs du gaz naturel dans la plage de température entre -20 °C et 40 °C , avec des pressions absolues allant jusqu'à 10 MPa , et seulement dans la phase gazeuse. Pour le coefficient de Joule-Thomson et l'exposant isentropique, l'incertitude des équations fournies est plus élevée que celle obtenue à partir d'une équation d'état complète telle que l'équation GERG-2008^[1] (voir l'ISO 20765-2), mais elle est reconnue comme étant adaptée à l'usage prévu. Les équations données ici sont très simples.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 20765-5:2022](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/40da55eb-3b56-4b18-8284-eea728f04aa0/iso-20765-5-2022)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/40da55eb-3b56-4b18-8284-eea728f04aa0/iso-20765-5-2022>

Gaz naturel — Calcul des propriétés thermodynamiques —

Partie 5:

Calcul de la viscosité, du coefficient de Joule-Thomson et de l'exposant isentropique

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie une méthode de calcul de la viscosité et d'autres propriétés, à l'exception de la densité, pour le mesurage du débit de gaz naturel.

2 Références normatives

Il n'y a pas de références normatives dans le présent document.

3 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

4 Contexte

La principale motivation de la présente norme est de fournir des méthodes simplifiées pour les calculs exigés, conformément à l'ISO 5167, pour la mesure du débit de gaz naturel à haute pression avec un débitmètre à diaphragme.

Plusieurs références utiles ont servi de base aux travaux du présent document:

- a) ISO 5167-1:1991, *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes — Partie 1: Diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire*
- b) EN 5167-1:1997, *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes — Partie 1: Diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire*
- c) ISO 5167-1:2003, *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire — Partie 1: Principes généraux et exigences générales*
- d) ISO 5167-2:2003, *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charges de section circulaire — Partie 2: Diaphragmes.*

L'équation de base du débit massique, q , est la suivante:

$$q = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot D} \quad (1)$$

où

C est une fonction de β , Re , et le type de prises de pression du diaphragme;

ε est une fonction de β , P , ΔP et κ .

Les symboles sont définis dans l'Annexe A. Les normes ci-dessus donnent des fonctions différentes pour C et ε . Bien que q soit donné par la Formule (1), une itération est nécessaire puisque C est une fonction de Re et que Re est une fonction de q . De la même manière, q dans la Formule (1) ne donne pas directement ΔP puisque ε est une fonction de ΔP .

À partir des équations données dans l'ISO 5167 (2003) pour le calcul du débit (q) pour un débitmètre à diaphragme sur une plage type de température, de pression, de pression différentielle et de composition de gaz, on aboutit à l'équation d'incertitude suivante (lorsque la seule source d'incertitudes réside dans le calcul des propriétés thermophysiques exigées du gaz):

$$\begin{aligned}
 [u(q)/q]^2 &= [0,5 \pm 0,0002]^2 \cdot [u(\rho)/\rho]^2 && \text{(densité molaire ou masse volumique)} \\
 &+ [0,0006 \pm 0,0002]^2 \cdot [u(\eta)/\eta]^2 && \text{(viscosité)} \\
 &+ [0,002 \pm 0,0012]^2 \cdot [u(\kappa)/\kappa]^2 && \text{(exposant isentropique)} \\
 &+ [-0,0004 \pm 0,0002]^2 \cdot [u(\mu)/\mu]^2 && \text{(coefficient de Joule-Thomson)}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

La Formule (2) peut être utilisée pour estimer l'incertitude exigée pour le calcul des propriétés couvertes par la présente norme.

Pour que l'incertitude élargie du débit massique (U) (facteur d'élargissement $k = 2$, avec un intervalle de confiance de 95 %) soit inférieure à 0,1 %, il est nécessaire que:

$$\begin{aligned}
 U(\rho) / \rho &< 0,1 \% \\
 U(\eta) / \eta &< 85 \% \\
 U(\kappa) / \kappa &< 25 \% \\
 U(\mu) / \mu &< 125 \%
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Pour que la contribution à l'incertitude soit inférieure à 0,02 %, il est nécessaire que:

$$\begin{aligned}
 U(\rho) / \rho &< 0,02 \% \\
 U(\eta) / \eta &< 17 \% \\
 U(\kappa) / \kappa &< 5 \% \\
 U(\mu) / \mu &< 25 \%
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Il est donc important de calculer la masse volumique le plus précisément possible, alors que l'incertitude de calcul des autres propriétés peut être sensiblement plus élevée, avec une incertitude cible pas mieux qu'environ 25 % pour une incertitude de débit de 0,1 % ($k = 2$). L'utilisation de l'équation d'état GERG-2008^[4] permet des calculs de masse volumique qui sont conformes à l'exigence d'incertitude de 0,1 %.

5 Viscosité, η

5.1 Viscosité en fonction de la température, de la pression et de la composition

Il existe de nombreuses méthodes de calcul de la viscosité (dynamique) en phase gazeuse, dont certaines basées sur la théorie se révèlent assez complexes (voir la Référence [10] pour plus de détails). La méthode de Lohrenz-Bray-Clark (LBC) est relativement simple et nécessite un nombre minimal de données sur la composition; largement appliquée, il s'agit ici de la méthode recommandée. Un inconvénient de cette méthode est sa sensibilité à la masse volumique (donnée d'entrée), mais pour l'application considérée dans le présent document, des valeurs de masse volumique précises seront disponibles.

Cette méthode suppose de connaître la composition du gaz. À partir des valeurs d'entrée de température, de pression et de composition, l'équation d'état GERG-2008 (ISO 20765-2) peut être utilisée pour obtenir la densité molaire exigée dans les équations ci-dessous. Si la composition n'est pas connue, les méthodes données en 5.2 peuvent être utilisées.

Les équations nécessaires à la mise en œuvre de cette méthode sont décrites ci-dessous (l'Annexe B contient un exemple de programme en Visual Basic), où les paramètres exigés se composent des valeurs des fluides purs suivantes pour les N fluides purs:

- masse molaire M_i [g/mol]
- température critique $T_{c,i}$ [K]
- pression critique $P_{c,i}$ [MPa]
- masse volumique critique $\rho_{c,i}$ [mol/dm³]
- fraction molaire du composant x_i [mol/mol]

Ces paramètres de mélange peuvent être estimés avec les équations suivantes:

$$M_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^N x_i M_i \quad (5)$$

$$T_{c,\text{mix}} = \sum_{i=1}^N x_i T_{c,i} \quad (6)$$

$$P_{c,\text{mix}} = \sum_{i=1}^N x_i P_{c,i} \quad (7)$$

$$V_{c,\text{mix}} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{\rho_{c,i}} \quad (8)$$

Les valeurs des fluides purs peuvent être obtenues à partir de n'importe quelle source appropriée, par exemple l'ISO 20765-2:2015, Annexe B.

La viscosité d'un mélange de gaz naturel peut être calculée comme suit:

$$\eta = \eta_{\text{mix}} + \xi \cdot (\delta^4 - 1) \quad (9)$$

La viscosité généralisée d'un mélange, basée sur les viscosités des fluides purs, est:

$$\eta_{\text{mix}} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \eta_i \sqrt{M_i}}{\sum_{i=1}^N x_i \sqrt{M_i}} \quad (10)$$

Le paramètre ξ dépend uniquement de la masse molaire, de la température critique et de la pression critique, et est donné comme suit:

$$\xi = u_\eta \left(\frac{M_{\text{mix}}}{u_M} \right)^{1/2} \left(\frac{T_{c,\text{mix}}}{u_T} \right)^{-1/6} \left(\frac{P_{c,\text{mix}}}{u_P} \right)^{2/3} \quad (11)$$

L'utilisation des constantes suivantes permet d'obtenir une équation adimensionnelle:

$$\begin{aligned} u_\eta &= 0,000 \text{ 1 mPa}\cdot\text{s} \\ u_M &= 1 \text{ g / mol} \\ u_T &= 1 \text{ K} \\ u_P &= 0,101 \text{ 325 MPa} \end{aligned} \quad (12)$$

Le paramètre δ dans la [Formule \(9\)](#) dépend de la masse volumique et est donné comme suit:

$$\delta = 1,023 + 0,233 \, 64 \rho_r + 0,585 \, 33 \rho_r^2 - 0,407 \, 58 \rho_r^3 + 0,093 \, 324 \rho_r^4 \quad (13)$$

$$\rho_r = V_{c,\text{mix}} \cdot \rho \quad (14)$$

où

ρ est la densité molaire à T et P , calculée d'après l'ISO 20765-2.

La viscosité des composants des fluides purs est:

$$\eta_i = u_\eta \left(\frac{M_i}{u_M} \right)^{1/2} \left(\frac{T_{c,i}}{u_T} \right)^{-1/6} \left(\frac{P_{c,i}}{u_P} \right)^{2/3} \alpha \quad (15)$$

où

α est obtenu avec

$$T_r \leq 1,5: \alpha = 3,4 \cdot T_r^{0,94} \quad (16)$$

$$T_r > 1,5: \alpha = 1,778 \cdot (4,58 \cdot T_r - 1,67)^{0,625} \quad (17)$$

La température réduite dans ces équations est:

$$T_r = T / T_{c,i} \quad (18)$$

À partir des données expérimentales données dans les Références [3] à [9] l'incertitude estimée de cette méthode est d'environ 4 % (intervalle de confiance de 95 %). (Biais = -0,31 %, moyenne quadratique = 1,59 %). Noter que les calculs de la [Formule \(9\)](#) correspondent à des prédictions. Les données expérimentales n'ont pas été utilisées dans le développement de cette équation.

Le nombre de points et les plages sont les suivants:

Nombre total de points	721
Plage de température	260 K to 344 K (-13 °C à 71 °C)
Plage de pression	0,1 MPa à 12,7 MPa

La [Figure 1](#) montre la distribution des erreurs en comparaison avec les données expérimentales suivantes:

1) Carr (1953) ^[3]	3 mélanges	55 points
2) Golubev (1959) ^[4]	1 mélange	17 points
3) Gonzalez et al. (1970) ^[5]	8 mélanges	35 points
4) Nabizadeh & Mayinger (1999) ^[6]	1 mélange	32 points
5) Assael et al. (2001) ^[7]	1 mélange	22 points
6) Schley et al. (2004) ^[8]	3 mélanges	521 points
7) Langelandsvik et al. (2007) ^[9]	2 mélanges	39 points