
Gaz naturel — Calcul des pouvoirs calorifiques, de la masse volumique, de la densité relative et des indices de Wobbe à partir de la composition

Natural gas — Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe indices from composition

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 6976:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9821b7d9-88f2-4c8c-a3d2-20f7baa61351/iso-6976-2016)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9821b7d9-88f2-4c8c-a3d2-20f7baa61351/iso-6976-2016>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 6976:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9821b7d9-88f2-4c8c-a3d2-20f7baa61351/iso-6976-2016>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2016, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos	v
Introduction	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	2
3 Termes et définitions	2
4 Symboles et unités	5
4.1 Quantités.....	5
4.2 Indices.....	6
4.3 Exposant.....	6
5 Principe	7
6 Comportement des gaz parfaits et réels	8
6.1 Enthalpie de combustion.....	8
6.2 Calcul du facteur de compression.....	8
7 Calcul du pouvoir calorifique sur une base molaire	9
7.1 Pouvoir calorifique supérieur.....	9
7.2 Pouvoir calorifique inférieur.....	10
8 Calcul du pouvoir calorifique sur une base massique	10
8.1 Pouvoir calorifique supérieur.....	10
8.2 Pouvoir calorifique inférieur.....	11
9 Calcul du pouvoir calorifique sur une base volumétrique	11
9.1 Pouvoir calorifique supérieur du gaz parfait.....	11
9.2 Pouvoir calorifique inférieur du gaz parfait.....	11
9.3 Pouvoir calorifique supérieur du gaz réel.....	12
9.4 Pouvoir calorifique inférieur du gaz réel.....	12
10 Calcul des propriétés associées	12
10.1 Densité relative du gaz parfait.....	12
10.2 Masse volumique du gaz parfait.....	13
10.3 Indice de Wobbe supérieur du gaz parfait.....	13
10.4 Indice de Wobbe inférieur du gaz parfait.....	13
10.5 Densité relative du gaz réel.....	14
10.6 Masse volumique du gaz réel.....	14
10.7 Indice de Wobbe supérieur du gaz réel.....	15
10.8 Indice de Wobbe inférieur du gaz réel.....	15
11 Incertitude de calcul	15
11.1 Principes.....	15
11.2 Formules pour la méthode analytique.....	16
11.3 Entrées pour la méthode analytique.....	16
11.3.1 Composition et incertitudes relatives à la composition.....	16
11.3.2 Entrées non compositionnelles.....	17
11.4 Incertitude élargie.....	18
11.5 Expression des résultats.....	18
11.5.1 Généralités.....	18
11.5.2 Méthode analytique.....	18
11.5.3 Méthode générique.....	18
11.5.4 Méthode de contingence.....	19
11.6 Application de l'incertitude.....	19
12 Tableaux de données	20
Annexe A (normative) Valeurs de constantes auxiliaires	26

Annexe B (normative) Équations de calcul de l'incertitude	28
Annexe C (informative) Facteurs de conversion	33
Annexe D (informative) Exemples de calcul	35
Bibliographie	58

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 6976:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9821b7d9-88f2-4c8c-a3d2-20f7baa61351/iso-6976-2016)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9821b7d9-88f2-4c8c-a3d2-20f7baa61351/iso-6976-2016>

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 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. 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.html

Le comité responsable de ce document est l'ISO/TC 193, *Gaz naturel*, sous-comité SC 1, *Analyse du gaz naturel*.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 6976:1995), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Introduction

Les transactions commerciales à l'échelle nationale et internationale exigent généralement de déterminer précisément la quantité ainsi que la qualité du gaz commercialisé. Le présent document spécifie des méthodes de calcul des propriétés-clés qui décrivent la qualité du gaz, autrement dit les pouvoirs calorifiques supérieur et inférieur, la masse volumique, la densité relative et les indices de Wobbe supérieur et inférieur. Ces méthodes permettent de calculer lesdites propriétés et leurs incertitudes, pour n'importe quel gaz naturel, substitut de gaz naturel ou combustible gazeux similaire dont la composition est connue dans des conditions de référence couramment utilisées.

De manière générale, les valeurs des diverses propriétés calculées selon cette troisième édition de l'ISO 6976 ne différeront que de très peu de celles calculées à l'aide de la seconde édition (1995) de la présente norme. Dans ce contexte, il est reconnu ce qui suit:

- a) les coûts liés à l'adoption des révisions détaillées dans la présente édition seront inévitables, en raison de la mise à jour nécessaire du logiciel des instruments;
- b) la teneur en énergie enregistrée et, par conséquent, l'énergie facturée, ne variera que de peu à la suite de ces révisions;
- c) des impacts involontaires pourraient être constatés si les révisions sont mises en œuvre sans la vigilance requise; par exemple: effectuer les révisions aux points d'entrée d'un réseau de gaz et non aux points de sortie peut générer un déséquilibre coûteux au niveau comptable;
- d) il sera nécessaire de prendre en compte les obligations commerciales, contractuelles, réglementaires et législatives.

Pour ces raisons, et en fonction de l'application de l'utilisateur, il peut être approprié d'entreprendre une étude d'impact afin de déterminer, d'un commun accord, le déroulement et la procédure de mise en œuvre des dispositions prévues dans ce document.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9821b7d9-88f2-4c8c-a3d2-20f7baa61351/iso-6976-2016>

Gaz naturel — Calcul des pouvoirs calorifiques, de la masse volumique, de la densité relative et des indices de Wobbe à partir de la composition

1 Domaine d'application

Ce document décrit des méthodes pour le calcul des pouvoirs calorifiques supérieur et inférieur, de la masse volumique, de la densité relative, des indices de Wobbe supérieur et inférieur de gaz naturels, de substituts du gaz naturel et d'autres combustibles gazeux, lorsque la composition du gaz par fraction molaire est connue. Les méthodes spécifiées permettent de calculer les propriétés du mélange de gaz dans des conditions de référence généralement utilisées.

La somme des fractions molaires correspond par définition à l'unité. L'ISO 6974-1 et l'ISO 6974-2 donnent des lignes directrices pour satisfaire à cette exigence par analyse chromatographique.

Les méthodes de calcul exigent des valeurs pour différentes propriétés physiques des constituants purs; ces valeurs ainsi que les incertitudes associées sont consignées dans des tableaux et leurs sources sont identifiées.

Des méthodes sont données pour estimer les incertitudes des propriétés calculées.

Les méthodes de calcul des valeurs des propriétés, qu'elles reposent sur une base molaire, massique ou volumétrique, sont applicables à tout gaz naturel, substitut de gaz naturel ou à tout autre combustible habituellement gazeux, à l'exception que dans le cas des propriétés calculées sur une base volumétrique la méthode se limite aux mélanges dont le facteur de compression est supérieur à 0,9 dans les conditions de référence.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9821b7d9-88f2-4c8c-a3d2-20f7baa61351/iso-6976-2016>

L'Annexe D donne des exemples de calcul pour les méthodes de calcul recommandées.

NOTE 1 Pour les besoins du présent document, les qualificatifs «supérieur», «élevé», «plus haut» et «total» sont synonymes de «brut»; de la même façon, «inférieur» et «bas» sont synonymes de «net». Les termes «masse volumique» et «masse spécifique» sont synonymes; le terme «poids spécifique» est synonyme de «densité relative»; le terme «nombre de Wobbe» est synonyme d'«indice de Wobbe»; le terme «facteur de compressibilité» est synonyme de «facteur de compression». Le poids moléculaire d'une grandeur sans dimension est numériquement équivalent à la masse molaire en $\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$.

NOTE 2 Il n'existe pas de limites de composition explicites auxquelles les méthodes décrites dans le présent document sont applicables. Toutefois, des limites de composition sont implicitement établies par la limitation des calculs sur une base volumétrique aux mélanges dont le facteur de compression est supérieur à 0,9 dans les conditions de référence.

NOTE 3 Étant donné que la fraction molaire de toute forme d'eau présente ne s'obtient habituellement pas à partir de l'analyse chromatographique, il est courant de calculer les propriétés physiques sur la base d'un gaz sec et de considérer les effets de la vapeur d'eau dans une procédure à part. Cependant, si la fraction molaire de la vapeur d'eau est connue, alors les calculs des propriétés peuvent être intégralement effectués selon les procédures décrites dans cette norme. Les effets de la vapeur d'eau sur le pouvoir calorifique, que ce dernier soit directement mesuré ou calculé, sont commentés dans l'ISO/TR 29922.

NOTE 4 Pour les hydrocarbures aliphatiques dont le nombre d'atomes de carbone est supérieur ou égal à 7, tout isomère présent est inclus à l'isomère linéaire comportant le même nombre d'atomes de carbone.

NOTE 5 Si l'utilisateur a pour exigence de remplacer, par exemple, un groupement C6+ ou C7+ de constituants non résolus de manière analytique par un pseudo-constituant unique, alors il lui incombe de définir lui-même la composition de la fraction molaire et, par conséquent, les propriétés de ce pseudo-constituant, afin d'en garantir l'adéquation avec l'application concernée. L'«eau inerte» et le «sulfure d'hydrogène non combustible» ainsi nommés peuvent également être traités en tant que pseudo-constituants, en attribuant une valeur nulle aux valeurs d'enthalpie de combustion appropriées.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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 6974-1, *Gaz naturel — Détermination de la composition et de l'incertitude associée par chromatographie en phase gazeuse — Partie 1: Lignes directrices générales et calcul de la composition*

ISO 6974-2, *Gaz naturel — Détermination de la composition et de l'incertitude associée par chromatographie en phase gazeuse — Partie 2: Calculs d'incertitude*

ISO 14912:2013, *Analyse des gaz — Conversion des données de composition de mélanges gazeux*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et la IEC maintiennent des bases de données terminologiques pour une utilisation dans la normalisation aux adresses suivantes:

- Electropedia IEC: disponible à <http://www.electropedia.org/>
- plateforme ISO de navigation en ligne: disponible à <http://www.iso.org/obp>

3.1

pouvoir calorifique supérieur

quantité de chaleur qui serait libérée par la combustion complète d'une quantité déterminée de gaz avec de l'oxygène, de sorte que la pression p_1 à laquelle la réaction a lieu reste constante et que tous les produits de la combustion soient ramenés à la même température spécifiée t_1 que celle des réactifs, tous ces produits étant à l'état gazeux, à l'exception de l'eau, qui est ramenée à l'état liquide par condensation à la température t_1

Note 1 à l'article: Lorsque la quantité de gaz est spécifiée sur une base molaire, le pouvoir calorifique supérieur est désigné comme étant $(Hc)_G(t_1, p_1)$; sur une base massique, le pouvoir calorifique supérieur est désigné comme étant $(Hm)_G(t_1, p_1)$. Lorsque la quantité de gaz est spécifiée sur une base volumétrique, le pouvoir calorifique supérieur est désigné comme étant $(Hv)_G(t_1, p_1; t_2, p_2)$, où t_2 et p_2 sont les conditions de référence (de mesurage) du volume du gaz (voir [Figure 1](#)).

3.2

pouvoir calorifique inférieur

quantité de chaleur qui serait libérée par la combustion complète d'une quantité déterminée de gaz avec l'oxygène, de sorte que la pression p_1 à laquelle la réaction a lieu reste constante, et que tous les produits de combustion soient ramenés à la même température spécifiée t_1 que celle des réactifs, tous ces produits étant à l'état gazeux

Note 1 à l'article: Lorsque la quantité de gaz est spécifiée sur les bases molaire, massique et volumétrique, le pouvoir calorifique inférieur est désigné comme étant respectivement $(Hc)_N(t_1, p_1)$, $(Hm)_N(t_1, p_1)$ et $(Hv)_N(t_1, p_1; t_2, p_2)$.

3.3

masse volumique

quotient de la masse d'un échantillon de gaz par le volume de celui-ci dans des conditions spécifiées de pression et de température

3.4

densité relative

quotient de la masse volumique d'un gaz par la masse volumique de l'air sec de composition de référence dans les mêmes conditions spécifiées de pression et de température

Note 1 à l'article: Le terme de densité relative parfaite s'applique lorsque le gaz et l'air sont tous deux considérés comme des gaz obéissant à la loi des gaz parfaits (voir 3.8); le terme de densité relative réelle s'applique lorsque l'air et le gaz sont tous deux considérés comme des fluides réels (voir 3.9). Pour la composition de référence déterminée de l'air sec, voir l'ISO/TR 29922.

3.5

indice de Wobbe supérieur

quotient du pouvoir calorifique supérieur sur une base volumétrique, dans des conditions de référence spécifiées, par la racine carrée de la densité relative dans les mêmes conditions de référence de mesurage spécifiées

Note 1 à l'article: Habituellement, et en l'absence de tout autre qualificatif, le terme «indice de Wobbe» est employé pour signifier la grandeur identifiée ici comme «indice de Wobbe supérieur».

3.6

indice de Wobbe inférieur

quotient du pouvoir calorifique inférieur sur une base volumétrique, dans des conditions de référence spécifiées, par la racine carrée de la densité relative dans les mêmes conditions de référence de mesurage spécifiées

3.7

enthalpie de transformation

quantité de chaleur dégagée qui accompagne le changement d'état (transformation) d'une substance ou d'un système, d'un état (initial) à un autre état (final)

Note 1 à l'article: Un dégagement de chaleur positif est représenté, par convention thermodynamique, comme une augmentation d'enthalpie négative, numériquement identique:

Note 2 à l'article: Dans le contexte de ce document, les notions suivantes peuvent être identifiées:

- **enthalpie de combustion** – dans ce cas, l'état initial est celui d'un mélange stoechiométrique imbrûlé de réactifs et l'état final est celui des produits de combustion à la même pression et à la même température;
- **enthalpie standard de vaporisation** – dans ce cas, l'état initial est celui d'une substance à l'état liquide à saturation, et l'état final est celui de cette même substance à l'état hypothétique de gaz parfait à la même température;
- **différence d'enthalpie (ou enthalpique)** - dans ce cas, l'état initial est celui d'un gaz ou d'un mélange de gaz à la température T_1 et l'état final est celui de ce même gaz ou mélange de gaz à la même pression mais à une température T_2 différente;
- **correction enthalpique (enthalpie résiduelle)** – dans ce cas, l'état initial est celui d'un gaz ou d'un mélange de gaz à l'état hypothétique de gaz parfait, et l'état final est celui de ce même gaz ou mélange de gaz à la même température et à la même pression à l'état de gaz réel.

3.8

gaz parfait

gaz qui obéit à la loi des gaz parfaits

Note 1 à l'article: La loi des gaz parfaits peut être exprimée de la manière suivante:

$$p \cdot V^0 = R \cdot T$$

où

p est la pression absolue;

T est la température thermodynamique;

V^0 est le volume occupé par une mole de gaz parfait (volume molaire du gaz parfait);

R est la constante molaire des gaz, exprimée dans un système d'unités cohérent au système d'unité utilisé.

3.9

gaz réel

gaz qui s'écarte de l'état volumétrique parfait

Note 1 à l'article: Aucun gaz réel n'obéit à la loi des gaz parfaits. Les écarts par rapport à l'état volumétrique parfait peuvent être écrits au moyen de l'équation d'état suivante:

$$p \cdot V = Z(p, T) \cdot R \cdot T$$

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

où

V est le volume occupé par une mole de gaz réel (volume molaire réel);

$Z(p, T)$ est une variable, souvent proche de l'unité, connue en tant que facteur de compression (voir [3.10](#)).

3.10

facteur de compression

quotient du volume réel d'une quantité de gaz définie, à une température et à une pression spécifiées, par son volume dans les mêmes conditions, calculé à partir de la loi des gaz parfaits

3.11

conditions de référence de combustion

température, t_1 , et pression, p_1 , auxquelles le combustible est brûlé théoriquement

3.12

conditions de référence de mesurage

température, t_2 , et pression, p_2 , auxquelles le volume de combustible à brûler est théoriquement déterminé

Note 1 à l'article: Il n'existe aucune raison *a priori* pour que les conditions de référence de mesurage soient identiques aux conditions de référence de combustion (voir [Figure 1](#)).

Note 2 à l'article: Différentes conditions de référence sont utilisées dans le monde.

Note 3 à l'article: Tout au long de la présente norme, l'utilisation de «15,55 °C» sert à désigner, en abrégé, l'équivalent exact de 60 °F en degrés Celsius, c'est-à-dire 15^{5/9} ou 15,55 (récurrent) °C.

Note 4 à l'article: L'équivalent exact de 101,325 kPa en psi peut être calculé à partir de

$$(101\,325) \cdot (0,304\,8/12)^2 / (0,453\,592\,37) \cdot (9,806\,65) = 14,695\,949 \dots$$

En pratique, cette valeur est normalement arrondie à 14,696 psi et la valeur arrondie est considérée comme égale à 101,325 kPa.

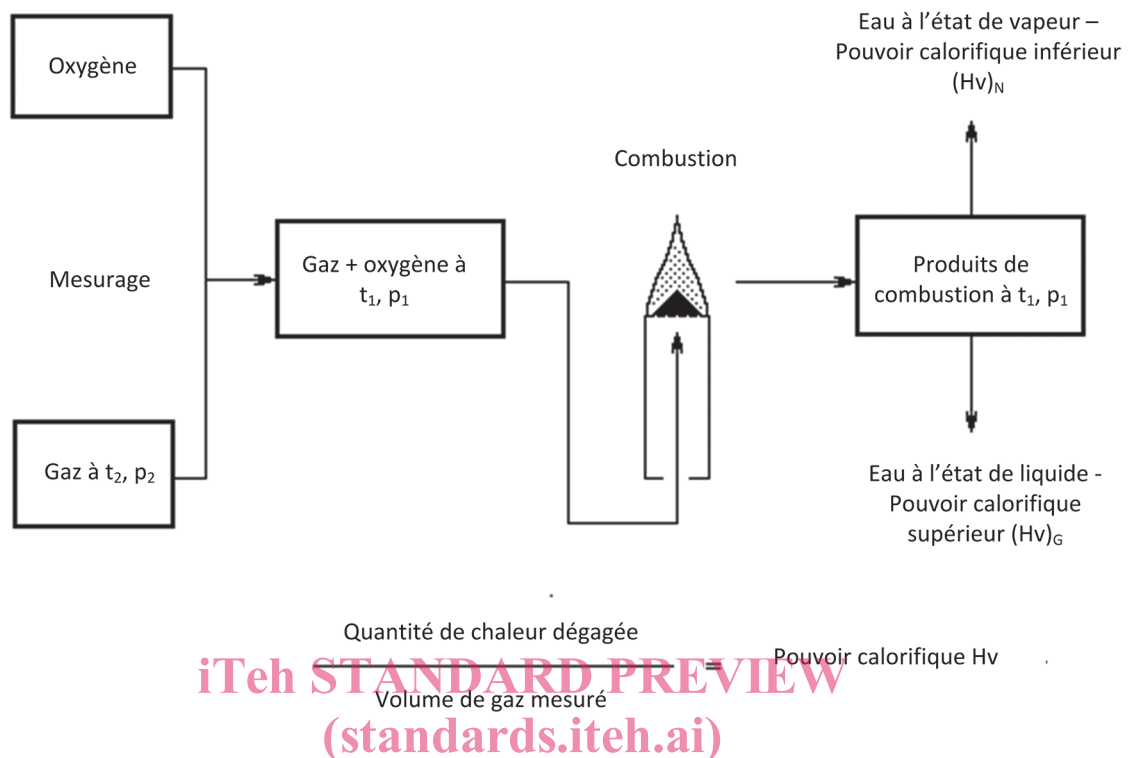


Figure 1 — Pouvoir calorifique sur une base volumétrique — Conditions de référence de mesure et de combustion

4 Symboles et unités

4.1 Quantités

Symbole	Signification	Unité
A	masse atomique	$\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$
a	numéro atomique du carbone dans la formule brute des composés chimiques $C_aH_bN_cO_dS_e$	—
b	numéro atomique de l'hydrogène dans la formule brute des composés chimiques $C_aH_bN_cO_dS_e$	—
c	numéro atomique de l'azote la formule brute des composés chimiques $C_aH_bN_cO_dS_e$	—
D	masse volumique	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
d	numéro atomique de l'oxygène dans la formule brute des composés chimiques $C_aH_bN_cO_dS_e$	—
e	numéro atomique du soufre dans la formule brute des composés chimiques $C_aH_bN_cO_dS_e$	—
F	fonction qui génère la propriété Y	—
G	densité relative	—
H_c	pouvoir calorifique sur une base molaire	$\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
H_m	pouvoir calorifique sur une base massique	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
H_v	pouvoir calorifique sur une base volumétrique	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$

Symbole	Signification	Unité
k	facteur d'élargissement	—
L	enthalpie molaire de vaporisation d'eau	$\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
M	masse molaire	$\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$
N	nombre de constituants d'un mélange	—
n	nombre de déterminations dans un ensemble de valeurs	—
p	pression (absolue)	kPa
q	grandeur d'entrée exacte pour le calcul de Y	(varie)
R	constante molaire des gaz	$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
r	coefficient de corrélation	—
s	facteur de sommation	—
T	température thermodynamique (absolue)	K
t	température Celsius	$^{\circ}\text{C}$
$U(Y)$	incertitude élargie de Y	(varie)
$u(Y)$	incertitude-type de Y	(varie)
V	volume molaire	$\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$
W	indice de Wobbe	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$
x	fraction molaire	—
Y	propriété physique générale (non spécifiée)	(varie)
y	grandeur d'entrée inexacte pour le calcul de Y	(varie)
Z	facteur de compression	—

iTech STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

4.2 Indices

ISO 6976:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9821b7d9-88f2-4c8c-a3d2-20f7baa61551/iso-6976-2016>

Symbole	Signification
G	supérieur (pouvoir calorifique ou indice de Wobbe)
i	indice
	identificateur de constituant
j	indice
	identificateur de constituant
k	indice
m	indice
N	inférieur (pouvoir calorifique ou indice de Wobbe)
n	indice
air	pour l'air
0	Valeur (de la pression) de référence (de base)
1	état de référence de combustion
2	état de référence de mesurage de volume

4.3 Exposant

Symbole	Signification
o	pour l'état du gaz parfait

5 Principe

Des méthodes sont fournies pour le calcul des pouvoirs calorifiques (supérieur et inférieur), de la masse volumique, de la densité relative et des indices de Wobbe (supérieur et inférieur) de tout gaz naturel, substitut de gaz naturel ou autre combustible gazeux, à partir d'une composition molaire connue.

Pour les pouvoirs calorifiques, ces méthodes utilisent des équations dans lesquelles, pour chacune des espèces moléculaires présentes dans le mélange gazeux, la valeur tabulée du pouvoir calorifique supérieur du gaz parfait sur une base molaire est pondérée selon sa fraction molaire, tous les termes étant ensuite additionnés pour obtenir la «moyenne de la fraction molaire» de cette grandeur pour le mélange gazeux à l'état parfait sur une base molaire. D'autres équations sont fournies pour la conversion de cette grandeur en pouvoir calorifique inférieur du gaz parfait, puis en pouvoirs calorifiques supérieur et inférieur du gaz parfait, sur une base soit massique, soit volumétrique.

De même, en ce qui concerne la masse volumique et la densité relative, ces méthodes utilisent des équations dans lesquelles, pour chacune des espèces moléculaires du mélange gazeux, la valeur tabulée de la masse molaire est pondérée selon sa fraction molaire, tous les termes étant ensuite additionnés pour obtenir la moyenne de la fraction molaire de cette grandeur. Le présent document fournit des équations qui permettent de convertir la moyenne de la fraction molaire en masse volumique ou densité relative du gaz parfait.

Les valeurs de masse volumique et de densité relative pour le gaz réel sont ensuite obtenues en appliquant un facteur de correction volumique (facteur de compression); une spécification est fournie pour ce calcul.

En ce qui concerne les pouvoirs calorifiques, la conversion des valeurs de l'état de gaz parfait à celui de gaz réel est, en principe, légèrement plus compliqué. Il convient, en premier lieu, d'appliquer une correction enthalpique minimale (enthalpie résiduelle) au pouvoir calorifique (supérieur ou inférieur) du gaz parfait sur la base molaire, de façon à obtenir le pouvoir calorifique du gaz réel sur la base molaire. Cependant, pour les besoins de la présente norme, cette correction enthalpique a été estimée et elle est si faible que la considérer comme négligeable devient légitimement (voir l'ISO/TR 29922).

Le fait de négliger la correction enthalpique a pour conséquence de définir, les pouvoirs calorifiques pour le gaz réel sur les bases molaire et massique comme étant équivalents aux pouvoirs calorifiques correspondants pour le gaz parfait. Pour obtenir les valeurs des pouvoirs calorifiques (supérieur ou inférieur) du gaz réel sur la base volumétrique à partir des valeurs du gaz parfait correspondantes, le facteur de correction volumique susmentionné (facteur de compression) est, en revanche, appliqué.

Enfin, des équations sont fournies pour le calcul des indices de Wobbe, aussi bien pour le gaz parfait que réel, à partir d'autres propriétés étudiées dans ce document.

Pour chacune des propriétés de gaz naturel pour lesquelles des formules sont fournies comme décrit ci-dessus, les méthodes spécifiées dans le GUM^[5] ont été appliquées de manière à fournir d'autres formules qui permettent une estimation de l'incertitude associée.

La dérivation de chacune de ces formules d'incertitude est présentée intégralement dans l'ISO/TR 29922. Essentiellement, chacune résulte de la dérivation analytique des coefficients de sensibilité, au moyen d'une différenciation partielle de la formule de mélange-propriété pertinente par rapport à chacune des grandeurs d'entrée (à savoir les propriétés physiques du composant pur et les fractions molaires du constituant) auxquelles une incertitude peut être associée. Les dérivations tiennent également compte des corrélations inévitables entre les fractions molaires du constituant et les corrélations également inévitables, mais moins évidentes, entre les masses molaires du constituant (voir également l'Article 11).

Pour chaque propriété, la variance totale (incertitude carrée) est obtenue en additionnant les contributions indépendantes à la variance de chaque source d'incertitude et le résultat d'incertitude global est pris comme racine carrée de cette quantité. Les formules à utiliser figurent à l'Annexe B.

L'Article 12 donne des valeurs tabulées pour les propriétés physiques pertinentes et leurs incertitudes associées des constituants purs du gaz naturel et ce, pour chacune des conditions de référence

couramment utilisées. Les données auxiliaires, y compris les incertitudes, figurent à l'Annexe A. Des exemples de calcul sont donnés dans l'Annexe D.

6 Comportement des gaz parfaits et réels

6.1 Enthalpie de combustion

Les grandeurs physiques les plus fondamentales requises pour le calcul des pouvoirs calorifiques à partir des premiers principes sont les enthalpies molaires (standard) de combustion (pouvoirs calorifiques molaires à l'état parfait) du gaz parfait- pour les constituants gazeux purs. Ces grandeurs sont des fonctions complexes de la température; par conséquent, les valeurs requises dépendent de la température de référence de combustion t_1 . Pour des raisons pratiques, il n'est pas prévu de permettre à l'utilisateur d'effectuer lui-même des calculs qui donneraient les valeurs appropriées à une quelconque température de référence de combustion arbitraire. Au lieu de cela, des tables sont données pour les températures $t_1 = 25 \text{ °C}$, 20 °C , $15,55 \text{ °C}$ (60 °F , voir 3.12, Note 3 à l'article), 15 °C (59 °F) et 0 °C . Les déductions des valeurs tabulées qui sont présentées dans le Tableau 3 sont commentées dans l'ISO/TR 29922; il est avant tout important que les cinq valeurs soient toutes thermodynamiques cohérentes entre elles.

6.2 Calcul du facteur de compression

Pour tout pouvoir calorifique sur une base volumétrique, une correction du gaz réel est exigée pour tenir compte de l'écart entre le gaz réel et l'état volumétrique parfait. Cette correction n'est pas négligeable et est également exigée pour le calcul de la masse volumique, de la densité relative et de l'indice de Wobbe. L'ISO/TR 29922 commente des informations contextuelles relatives à la manière dont les corrections de la non-idéalité volumétrique doivent être appliquées et justifie les simplifications employées qui permettent d'effectuer des calculs résolubles, comme détaillé ci-dessous dans la Formule (1).

Cette correction de la non-idéalité volumétrique s'effectue à l'aide du facteur de compression Z du mélange. La formulation à utiliser pour Z dans les conditions de référence de mesurage, comme exigé pour les calculs décrits aux Articles 9 et 10, est la suivante (voir ISO/TR 29922):

$$Z(t_2, p_2) = 1 - \left(\frac{p_2}{p_0} \right) \times \left[\sum_{j=1}^N x_j \cdot s_j(t_2, p_0) \right]^2 \quad (1)$$

où $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ ($14,696 \text{ psi}$), et la pression de référence de mesurage p_2 est exprimée dans les mêmes unités. La sommation est effectuée sur l'ensemble des constituants N du mélange et la formule est valable pour l'encadrement $90 < p_2/\text{kPa} < 110$ ($13,05 < p_2/\text{psi} < 15,95$). Les valeurs du facteur dit de sommation $s_j(t_2, p_0)$ sont données dans le Tableau 2 aux quatre températures de référence de mesurage d'intérêt général pour tous les constituants et les substitués du gaz naturel considérés dans ce document. Les déductions de ces valeurs sont détaillées dans l'ISO/TR 29922.

NOTE La Formule (1) peut également servir à calculer les valeurs du facteur de compression des constituants purs, mais elle n'aboutira pas nécessairement au résultat le plus précis possible. Plus particulièrement, la formule ne donnera aucune valeur acceptable pour les facteurs de compression de l'hydrogène, de l'hélium ou du néon, pour lesquels $Z > 1$, ni pour aucun constituant non gazeux dans les conditions de référence de mesurage, tels que les hydrocarbures plus lourds. Il convient que l'utilisateur étudie la pertinence de tout calcul de ce type avant de l'employer dans un contexte différent de ce document. Des valeurs définitives du facteur de compression sont données dans l'ISO/TR 29922 pour plusieurs constituants purs, dits «gaz permanents».

7 Calcul du pouvoir calorifique sur une base molaire

7.1 Pouvoir calorifique supérieur

Le pouvoir calorifique supérieur sur une base molaire d'un mélange de composition connue, à une température t_1 , doit être calculé à partir de la formule

$$(Hc)_G(t_1) = (Hc)_G^o(t_1) = \sum_{j=1}^N x_j \cdot [(Hc)_G^o]_j(t_1) \quad (2)$$

où

$(Hc)_G^o(t_1)$ est le pouvoir calorifique supérieur sur une base molaire du mélange gazeux à l'état parfait;

$(Hc)_G(t_1)$ est le pouvoir calorifique supérieur sur une base molaire du mélange gazeux à l'état réel;

$[(Hc)_G^o]_j(t_1)$ est le pouvoir calorifique supérieur sur une base molaire du constituant j à l'état parfait;

x_j est la fraction molaire du constituant j .

NOTE 1 Les valeurs de $[(Hc)_G^o]_j$ sont indépendantes de la pression; par conséquent, la pression de référence de combustion p_1 n'est pas pertinente et est omise de la nomenclature adoptée.

NOTE 2 Le pouvoir calorifique sur une base molaire d'un gaz ou d'un mélange gazeux à l'état parfait est défini, dans le présent document, en tant que grandeur positive. Les valeurs données dans le [Tableau 3](#) sont, sur le plan numérique, égales aux enthalpies de combustion molaires standard qui, toutefois, sont exprimées par convention sous la forme de grandeurs négatives (voir [3.7](#)).

Les valeurs numériques de $[(Hc)_G^o]_j(t_1)$ pour $t_1 = 25 \text{ °C}$ sont données dans le [Tableau 3](#). Ces valeurs prises pour $[(Hc)_G^o]_j(25)$ sont extraites des sources documentaires originales citées dans l'ISO/TR 29922. Les valeurs de $[(Hc)_G^o]_j(t_1)$ pour les autres températures ($t_1 = 20 \text{ °C}$, $15,55 \text{ °C}$, 15 °C et 0 °C) sont également données dans le [Tableau 3](#). Ces valeurs découlent des valeurs obtenues à 25 °C selon les méthodes décrites dans l'ISO/TR 29922.