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

Partie 1:

**Propriétés de la phase gazeuse pour des
applications de transport et de
distribution**

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Natural gas — Calculation of thermodynamic properties —

*Part 1: Gas phase properties for transmission and distribution
applications*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4b415c43-db55-491a-b1be-729b5b9398d6/iso-20765-1-2005>



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 20765-1:2005

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4b415c43-db55-491a-b1be-729b5b9398d6/iso-20765-1-2005>

© ISO 2005

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

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

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application.....	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions.....	1
4 Base thermodynamique de la méthode.....	2
4.1 Principe.....	2
4.2 Équation fondamentale de l'énergie libre de Helmholtz.....	3
4.3 Propriétés thermodynamiques établies à partir de l'énergie libre de Helmholtz.....	6
5 Méthode de calcul.....	9
5.1 Variables d'entrée	9
5.2 Conversion de la pression en densité réduite.....	10
5.3 Application	10
6 Plages d'application	11
6.1 Pression et température.....	11
6.2 Gaz de qualité réseau.....	11
7 Incertitude.....	12
7.1 Incertitude pour le gaz de qualité réseau.....	12
7.2 Impact des incertitudes des variables d'entrée.....	15
8 Consignation des résultats dans un rapport.....	15
Annexe A (normative) Symboles et unités	17
Annexe B (normative) Énergie libre de Helmholtz du gaz parfait	21
Annexe C (normative) Équation de l'énergie libre de Helmholtz	24
Annexe D (normative) Documentation détaillée de l'équation d'état.....	26
Annexe E (informative) Attribution des constituants à l'état de traces	32
Annexe F (informative) Application de la méthode.....	34
Annexe G (informative) Exemples	37
Bibliographie	44

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 20765-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 193, *Gaz naturel*, sous-comité SC 1, *Analyse du gaz naturel*.

L'ISO 20765 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Gaz naturel — Calcul des propriétés thermodynamiques*:

- *Partie 1: Propriétés de la phase gazeuse pour des applications de transport et de distribution*
- *Partie 2: Propriétés de la phase unique (gaz, liquide et fluide dense) pour des gammes étendues d'applications*
- *Partie 3: Propriétés de la phase double (équilibre vapeur-liquide)*

Introduction

La présente partie de l'ISO 20765 spécifie des méthodes pour le calcul des propriétés thermodynamiques des gaz naturels, de gaz naturels contenant un adjuvant synthétique et de mélanges similaires.

La présente partie de l'ISO 20765 compte quatre annexes normatives et trois annexes informatives.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 20765-1:2005

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4b415c43-db55-491a-b1be-729b5b9398d6/iso-20765-1-2005>

iTeh STANDARD PREVIEW **(standards.iteh.ai)**

ISO 20765-1:2005

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4b415c43-db55-491a-b1be-729b5b9398d6/iso-20765-1-2005>

Gaz naturel — Calcul des propriétés thermodynamiques —

Partie 1:

Propriétés de la phase gazeuse pour des applications de transport et de distribution

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 20765 spécifie une méthode de calcul des propriétés volumétriques et calorifiques des gaz naturels, de gaz naturels contenant un adjuvant synthétique et de mélanges similaires, dans des conditions telles que le mélange ne peut exister que sous forme gazeuse.

La méthode est applicable aux gaz de qualité réseau dans les plages de pression, p , et de température, T , auxquelles s'effectuent normalement les opérations de transport et de distribution. Pour les propriétés volumétriques (facteur de compression et masse volumique), l'incertitude de calcul avoisine $\pm 0,1\%$ (intervalle de confiance de 95 %). En revanche, l'incertitude de calcul est généralement plus élevée pour les propriétés calorifiques (par exemple l'enthalpie, la capacité thermique, le coefficient de Joule-Thomson, la vitesse du son).

(standards.iteh.ai)

2 Références normatives

ISO 20765-1:2005

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 31-3, *Grandeurs et unités — Partie 3: Mécanique*

ISO 31-4, *Grandeurs et unités — Partie 4: Chaleur*

ISO 7504, *Analyse des gaz — Vocabulaire*

ISO 12213-2, *Gaz naturel — Calcul du facteur de compression — Partie 2: Calcul à partir de l'analyse de la composition molaire*

ISO 14532, *Gaz naturel — Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 31-4, l'ISO 7504 et l'ISO 14532 ainsi que les suivants s'appliquent.

NOTE Voir l'Annexe A pour la liste des symboles et unités utilisés dans la présente partie de l'ISO 20765.

3.1

propriété calorifique

caractéristique d'un gaz ou d'un mélange gazeux homogène, qui peut être calculée à partir d'une équation fondamentale d'état

NOTE Les propriétés calorifiques auxquelles la présente partie de l'ISO 20765 est susceptible de s'appliquer sont l'énergie interne, l'enthalpie, l'entropie, la capacité thermique isochore, la capacité thermique isobare, le coefficient de Joule-Thomson, l'exposant isentropique et la vitesse du son.

3.2

équation d'état

équation mathématique établissant la relation entre les variables d'état d'un gaz ou d'un mélange gazeux homogène

NOTE Dans la présente partie de l'ISO 20765, il est utile d'opérer une distinction entre deux types d'équation d'état, à savoir (1) l'équation volumétrique d'état, laquelle établit la relation entre les variables d'état (pression et température) et le volume occupé par une quantité donnée de matière, et (2) l'équation fondamentale d'état, qui établit la relation entre la masse volumique, la température et l'énergie libre de Helmholtz.

3.3

propriété résiduelle

partie d'une propriété thermodynamique qui résulte du comportement non idéal (gaz réel) d'un gaz ou d'un mélange gazeux homogène, c'est-à-dire la différence entre une propriété thermodynamique d'un gaz réel ou d'un mélange gazeux réel et cette même propriété thermodynamique pour le même gaz ou mélange gazeux à l'état idéal, aux mêmes conditions d'état de température et de masse volumique

3.4

propriété thermodynamique

propriété volumétrique ou calorifique

3.5

propriété volumétrique

caractéristique d'un gaz ou d'un mélange gazeux homogène, qui peut être calculée à partir d'une équation volumétrique d'état

NOTE Les propriétés volumétriques auxquelles la présente partie de l'ISO 20765 est susceptible de s'appliquer sont le facteur de compression et la masse volumique.

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

4 Base thermodynamique de la méthode

ISO 20765-1:2005
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4b415c43-db55-491a-b1be-729b5b9398d6/iso-20765-1-2005>

4.1 Principe

La méthode spécifiée est fondée sur le principe selon lequel le gaz naturel de qualité réseau est totalement caractérisé pour le calcul de ses propriétés thermodynamiques par une analyse des constituants. Ce type d'analyse fournit, conjointement avec les variables d'état de température et de masse volumique, les données d'entrée requises pour cette méthode. Dans la pratique, les variables d'état disponibles sous la forme de données d'entrée sont plus généralement la température et la pression; en l'occurrence, il est donc nécessaire de convertir préalablement celles-ci en température et masse volumique.

Les équations présentées expriment l'énergie libre de Helmholtz du gaz comme une fonction de la masse volumique, de la température et de la composition, à partir de laquelle il est possible d'obtenir toutes les propriétés thermodynamiques en termes d'énergie libre de Helmholtz et de ses dérivées par rapport à la température et à la masse volumique.

La méthode utilise une analyse détaillée de la composition molaire dans laquelle il convient de représenter tous les constituants présents en des quantités supérieures à une fraction molaire de 0,000 05 [50 ppm¹⁾ (fraction molaire)]. Pour un gaz naturel type, cela peut inclure des hydrocarbures alcanes avec jusqu'à C₇ ou C₈, ainsi que l'azote, le dioxyde de carbone et l'hélium. En règle générale, les isomères pour les alcanes au-delà de C₅ peuvent être regroupés par masse moléculaire et traités collectivement comme l'isomère normal.

Pour certains gaz naturels, il est possible que des constituants supplémentaires – les hydrocarbures C₉ et C₁₀, la vapeur d'eau et le sulfure d'hydrogène, par exemple – doivent être pris en compte. Pour les gaz manufacturés, il convient de prendre en considération l'hydrogène et le monoxyde de carbone.

1) Les ppm sont une unité déconseillée.

La méthode utilise plus précisément une analyse de 21 constituants dans laquelle l'ensemble des constituants majeurs et mineurs du gaz naturel sont inclus (voir 6.2). Tout constituant à l'état de traces présent mais non identifié comme l'un des 21 constituants spécifiés peut être réattribué de manière appropriée à un constituant spécifié.

4.2 Équation fondamentale de l'énergie libre de Helmholtz

4.2.1 Rappel

L'équation AGA8 ^[1], spécialement conçue pour calculer le facteur de compression avec une grande précision, a été publiée en 1992 par le *Transmission Measurements Committee* de l'*American Gas Association*. À ce propos, l'équation a déjà été abordée dans l'ISO 12213-2. Depuis sa publication, il est devenu de plus en plus manifeste que cette équation offre un excellent potentiel pour le calcul de l'ensemble des propriétés thermodynamiques d'un gaz naturel, même si la précision du calcul n'a pas fait l'objet d'une documentation exhaustive.

Pour que l'équation AGA8 se révèle utile pour le calcul de toutes les propriétés thermodynamiques, deux exigences fondamentales s'imposent:

- a) L'équation elle-même – publiée à l'origine sous une forme uniquement explicite pour les propriétés volumétriques – doit être remaniée mathématiquement sous une forme explicite pour l'énergie libre résiduelle de Helmholtz. En fait, bien que non publié comme tel, le développement initial de l'équation se présentait comme une équation fondamentale de l'énergie libre de Helmholtz. Cette formulation ^[2] est essentielle en ce sens que toutes les propriétés thermodynamiques résiduelles peuvent être calculées à partir de l'énergie libre de Helmholtz et de ses dérivées par rapport aux conditions d'état de température et de masse volumique.
- b) Pour le calcul des propriétés calorifiques, une formulation est requise pour l'énergie libre de Helmholtz du gaz parfait comme une fonction de la température. La plupart des formulations antérieures relatives au gaz parfait étaient explicites quant à la capacité thermique isobare et, par conséquent, la formulation retenue ^{[3], [4]} doit être à nouveau remaniée de sorte à être explicite pour l'énergie libre de Helmholtz. Ici aussi, les dérivées de l'énergie libre de Helmholtz par rapport aux conditions d'état sont nécessaires.

Un aspect important des formulations retenues pour les parties idéale et résiduelle de l'énergie libre de Helmholtz réside dans le fait que les dérivées nécessaires au calcul des propriétés thermodynamiques peuvent être énoncées sous forme analytique. Dès lors, il n'est pas nécessaire de procéder à une différentiation ou à une intégration numérique au moyen d'un quelconque programme informatique qui applique ces procédures. Les problèmes numériques sont ainsi évités et les temps de calculs, raccourcis.

La méthode de calcul décrite se prête parfaitement à un usage au sein de programmes de simulation de processus et, en particulier, de programmes élaborés pour les applications de transport et de distribution d'un gaz naturel.

4.2.2 Énergie libre de Helmholtz

L'énergie libre de Helmholtz, f , d'un mélange de gaz homogène à pression et température uniformes peut être exprimée comme la somme d'une partie f_o décrivant le comportement d'un gaz parfait et d'une partie f_r détaillant le comportement d'un gaz résiduel ou réel, selon l'Équation (1):

$$f(\rho, T, X) = f_o(\rho, T, X) + f_r(\rho, T, X) \quad (1)$$

ce qui, réécrit sous la forme de l'énergie libre réduite sans dimension, $\varphi = f/(R \cdot T)$, devient l'Équation (2):

$$\varphi(\delta, \tau, X) = \varphi_o(\delta, \tau, X) + \varphi_r(\delta, \tau, X) \quad (2)$$

où

X est un vecteur qui définit la composition du mélange;

τ est la température réduite (sans dimension) inverse, liée à la température T selon l'Équation (3):

$$\tau = L/T \quad (3)$$

où $L = 1 \text{ K}$.

Il est à noter que les Équations (1) et (2) sont respectivement écrites en termes de densité molaire, ρ , et de densité réduite, δ , et non en termes de la variable d'entrée de pression, p , plus communément disponible. Cela s'explique par le fait que l'énergie libre de Helmholtz apparaît, à partir de la thermodynamique statistique, comme une conséquence naturelle du nombre et des types d'interactions moléculaires dans un mélange et qu'elle devient, par conséquent, une fonction naturelle de la densité molaire et des fractions molaires des molécules.

La densité réduite, δ , est liée à la densité molaire, ρ , selon l'Équation (4):

$$\delta = K^3 \cdot \rho \quad (4)$$

où

K est un paramètre de la taille du mélange.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

La partie idéale, φ_o , de l'énergie libre réduite de Helmholtz est obtenue à partir des équations de la capacité thermique isobare à l'état de gaz parfait (voir 4.2.3) et la partie résiduelle, φ_r , à partir de l'équation d'état AGA8 (voir 4.2.4).

4.2.3 Énergie libre de Helmholtz du gaz parfait

L'énergie libre de Helmholtz d'un gaz parfait peut être exprimée en termes d'enthalpie, h_o , et d'entropie, s_o , selon l'Équation (5):

$$f_o(\rho, T, X) = h_o(T, X) - R \cdot T - T \cdot s_o(\rho, T, X) \quad (5)$$

À leur tour, l'enthalpie, h_o , et l'entropie, s_o , peuvent être exprimées en termes de capacité thermique isobare, $c_{o,p}$, du gaz parfait, selon les Équations (6) et (7), où les limites implicites d'intégration sont T_θ et T :

$$h_o(T, X) = \int_{c_{o,p}} dT + h_{o,\theta} \quad (6)$$

$$s_o(\rho, T, X) = \int \frac{c_{o,p}}{T} dT - R \cdot \ln\left(\frac{\rho}{\rho_\theta}\right) - R \cdot \ln\left(\frac{T}{T_\theta}\right) + s_{o,\theta} - R \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot \ln x_i \quad (7)$$

L'état de référence de l'enthalpie nulle et de l'entropie nulle est ici adopté comme $T_\theta = 298,15 \text{ K}$ et $p_\theta = 0,101\,325 \text{ MPa}$ pour le gaz parfait non mélangé. Les constantes d'intégration, $h_{o,\theta}$ et $s_{o,\theta}$, sont ensuite déterminées conformément à cette définition. La densité (idéale) de référence, ρ_θ , est donnée par $\rho_\theta = p_\theta / (R \cdot T_\theta)$.

L'énergie libre réduite de Helmholtz, $\varphi_0 = f_0/(R \cdot T)$, peut alors être écrite, à partir des Équations (6) et (7), comme une fonction de δ , τ et X , selon l'Équation (8):

$$\varphi_0(\delta, \tau, X) = -\tau \int \frac{c_{0,p}}{R \cdot \tau^2} d\tau + \frac{h_{0,\theta} \cdot \tau}{R \cdot L} - 1 + \int \frac{c_{0,p}}{R \cdot \tau} d\tau + \ln\left(\frac{\delta}{\delta_\theta}\right) + \ln\left(\frac{\tau_\theta}{\tau}\right) - \frac{s_{0,\theta}}{R} + \sum_{i=1}^N x_i \cdot \ln x_i \quad (8)$$

Voir l'Annexe B pour les détails de cette formulation.

4.2.4 Partie résiduelle de l'énergie libre de Helmholtz

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 20765, la partie résiduelle de l'énergie libre réduite de Helmholtz est obtenue en utilisant l'équation AGA8. Écrite pour le facteur de compression comme une fonction de la densité réduite, de la température réduite inverse et de la composition, l'équation AGA8 a la forme de l'Équation (9):

$$Z = 1 + \frac{B \cdot \delta}{K^3} - \delta \sum_{n=13}^{18} C_n \cdot \tau^{u_n} + \sum_{n=13}^{58} C_n \cdot \tau^{u_n} \cdot \delta^{b_n} (b_n - c_n \cdot k_n \cdot \delta^{k_n}) \exp(-c_n \cdot \delta^{k_n}) \quad (9)$$

où

B est le second coefficient du viriel;

b_n , c_n , k_n et u_n sont des coefficients de l'équation qui sont des fonctions de la composition;

C_n est une fonction de la composition.

Le facteur de compression, Z , est lié à la partie résiduelle de l'énergie libre réduite, φ_r , selon l'Équation (10):

$$Z = 1 + \delta \cdot \varphi_{r,\delta} \quad (10)$$

ISO 20765-1:2005
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4b415c43-db55-491a-b1be-729b5b9398d6/iso-20765-1-2005>

où $\varphi_{r,\delta}$ est la dérivée partielle de φ_r par rapport à la densité réduite à τ et X constants.

L'élimination de Z entre les Équations (9) et (10), et l'intégration par rapport à la densité réduite, donne lieu à l'Équation (11) pour la partie résiduelle de l'énergie libre réduite de Helmholtz:

$$\varphi_r(\delta, \tau, X) = \frac{B \cdot \delta}{K^3} - \delta \sum_{n=13}^{18} C_n \cdot \tau^{u_n} + \sum_{n=13}^{58} C_n \cdot \tau^{u_n} \cdot \delta^{b_n} \exp(-c_n \cdot \delta^{k_n}) \quad (11)$$

Voir les Annexes C et D pour les détails de cette formulation.

4.2.5 Énergie libre réduite de Helmholtz

L'équation fondamentale [Équation (2)] de l'énergie libre réduite de Helmholtz, φ , permet de calculer, au moyen de l'Équation (8) (pour la partie idéale, φ_0) et de l'Équation (11) (pour la partie résiduelle, φ_r), toutes les propriétés thermodynamiques de manière analytique. Par conséquent, l'énergie libre réduite de Helmholtz, φ , peut s'écrire selon l'Équation (12):

$$\begin{aligned} \varphi(\delta, \tau, X) = & -\tau \int \frac{c_{0,p}}{R \cdot \tau^2} d\tau + \frac{h_{0,\theta} \cdot \tau}{R} - 1 + \int \frac{c_{0,p}}{R \cdot \tau} d\tau + \ln\left(\frac{\delta}{\delta_\theta}\right) + \ln\left(\frac{\tau_\theta}{\tau}\right) - \frac{s_{0,\theta}}{R} + \sum_{i=1}^N x_i \cdot \ln x_i + \dots \\ & \dots + \frac{B \cdot \delta}{K^3} - \delta \sum_{n=13}^{18} C_n \cdot \tau^{u_n} + \sum_{n=13}^{58} C_n \cdot \tau^{u_n} \cdot \delta^{b_n} \exp(-c_n \cdot \delta^{k_n}) \end{aligned} \quad (12)$$

4.3 Propriétés thermodynamiques établies à partir de l'énergie libre de Helmholtz

4.3.1 Rappel

Toutes les propriétés thermodynamiques peuvent être écrites explicitement en termes de l'énergie libre réduite de Helmholtz, φ , et de ses diverses dérivées. Les dérivées requises, φ_τ , $\varphi_{\tau\tau}$, φ_δ , $\varphi_{\delta\delta}$ et $\varphi_{\tau\delta}$, sont définies selon les Équations (13):

$$\varphi_\tau = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \tau} \right)_{\delta, X} \quad \varphi_{\tau\tau} = \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \tau^2} \right)_{\delta, X} \quad \varphi_\delta = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \delta} \right)_{\tau, X} \quad \varphi_{\delta\delta} = \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \delta^2} \right)_{\tau, X} \quad \varphi_{\tau\delta} = \left(\frac{\partial}{\partial \tau} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \delta} \right) \right)_{\tau, X} \quad (13)$$

Chaque dérivée est la somme d'une partie idéale (voir Annexe B) et d'une partie résiduelle (voir Annexe C). Les substitutions dans les Équations (14) et (15) permettent de simplifier la présentation des relations pertinentes:

$$\varphi_1 = \left(\frac{\partial(\delta^2 \cdot \varphi_\delta)}{\partial \delta} \right)_{\tau, X} = 2 \cdot \delta \cdot \varphi_\delta + \delta^2 \cdot \varphi_{\delta\delta} \quad (14)$$

$$\varphi_2 = -\tau^2 \left(\frac{\partial}{\partial \tau} \left(\frac{\delta \cdot \varphi_\delta}{\tau} \right) \right)_{\delta, X} = \delta \cdot \varphi_\delta - \tau \cdot \delta \cdot \varphi_{\tau\delta} \quad (15)$$

L'Annexe C présente les expressions détaillées de φ_τ , $\varphi_{\tau\tau}$, φ_δ , φ_1 et φ_2 .

Les relations générales pertinentes des diverses propriétés thermodynamiques sont données en 4.3.2.1 à 4.3.2.9 [Équations (17) à (26)]. Dans les Équations (19) à (24), les symboles en minuscules représentent des grandeurs molaires (c'est-à-dire quantité par mole) tandis que les symboles majuscules correspondants représentent des grandeurs spécifiques (c'est-à-dire quantité par kilogramme). La conversion des variables molaires en variables exprimées en termes de masse est réalisée en opérant une division par la masse molaire, M .

NOTE Dans ces équations, R est la constante molaire du gaz; par conséquent, R/M est la constante spécifique du gaz.

La masse molaire, M , du mélange est établie à partir de la composition, X , et des masses molaires, M_i , des substances pures, selon l'Équation (16):

$$M = \sum_{i=1}^N x_i \cdot M_i \quad (16)$$

Les valeurs des masses molaires, M_i , des substances pures sont données dans les Références [1] et [2]; ces valeurs sont identiques à celles données dans l'ISO 6976:1995 [5].

NOTE Les valeurs données dans l'ISO 6976 pour les masses molaires sont en règle générale différentes des valeurs les plus récentes adoptées par la communauté internationale des métrologistes. Il s'agit cependant des valeurs qui étaient communément utilisées pendant la mise au point de l'équation AGA8, ce qui explique pourquoi ces valeurs sont conservées dans la présente partie de l'ISO 20765. Dans tous les cas, les différences sont inférieures à 0,001 kg/kmol.

Dans les Équations (20), (21) et (23) à (26), les expressions de base pour les propriétés h , s , c_p , μ , κ et w ont été transformées de plusieurs façons, de sorte que les valeurs de propriétés déjà établies puissent être utilisées pour simplifier les calculs ultérieurs. Cette approche est utile pour les applications dans lesquelles plusieurs ou toutes les propriétés thermodynamiques doivent être déterminées. Pour des raisons de clarté, les relations thermodynamiques de base sont d'abord données dans chaque paragraphe, les transformations subsidiaires étant présentées dessous.

4.3.2 Équations pour les propriétés thermodynamiques

4.3.2.1 Facteur de compression et masse volumique

L'expression pour le facteur de compression, Z , est donnée par l'Équation (17):

$$Z = \delta \cdot \varphi_{\delta} \quad (17)$$

où φ_{δ} est la dérivée par rapport à la densité molaire réduite de l'énergie libre de Helmholtz [voir aussi l'Équation (10)]. La densité molaire, ρ , et la masse volumique spécifique, D , sont liées à la pression selon l'Équation (18):

$$\rho = D/M = p/(Z \cdot R \cdot T) \quad (18)$$

Il convient que les valeurs du facteur de compression, Z , calculées conformément à la présente partie de l'ISO 20765, soient identiques aux valeurs calculées selon l'ISO 12213-2. Dans tous les cas où un choix s'impose, l'ISO 12213-2 doit être prioritaire.

4.3.2.2 Énergie interne

L'expression pour l'énergie interne, u , est donnée par l'Équation (19):

$$\frac{u}{R \cdot T} = \frac{U \cdot M}{R \cdot T} = \tau \cdot \varphi_{\tau} \quad (19)$$

4.3.2.3 Enthalpie

L'expression pour l'enthalpie, h , est donnée par l'Équation (20):

$$\begin{aligned} \frac{h}{R \cdot T} &= \frac{H \cdot M}{R \cdot T} \\ &= \tau \cdot \varphi_{\tau} + \delta \cdot \varphi_{\delta} \\ &= \frac{u}{R \cdot T} + Z = \frac{U \cdot M}{R \cdot T} + Z \end{aligned} \quad (20)$$

4.3.2.4 Entropie

L'expression pour l'entropie, s , est donnée par l'Équation (21):

$$\begin{aligned} \frac{s}{R} &= \frac{S \cdot M}{R} \\ &= \tau \cdot \varphi_{\tau} - \varphi \\ &= \frac{u}{R \cdot T} - \varphi = \frac{U \cdot M}{R \cdot T} - \varphi \end{aligned} \quad (21)$$

4.3.2.5 Capacité thermique isochore

L'expression pour la capacité thermique isochore, c_v , est donnée par l'Équation (22):

$$\frac{c_v}{R} = \frac{C_v \cdot M}{R} = -\tau^2 \cdot \varphi_{\tau\tau} \quad (22)$$

4.3.2.6 Capacité thermique isobare

L'expression pour la capacité thermique isobare, c_p , est donnée par l'Équation (23):

$$\begin{aligned}
 \frac{c_p}{R} &= \frac{C_p \cdot M}{R} \\
 &= -\tau^2 \cdot \varphi_{\tau\tau} + \frac{\varphi_2^2}{\varphi_1} \\
 &= \frac{c_v}{R} + \frac{\varphi_2^2}{\varphi_1} \\
 &= \frac{C_v \cdot M}{R} + \frac{\varphi_2^2}{\varphi_1}
 \end{aligned} \tag{23}$$

4.3.2.7 Coefficient de Joule-Thomson

L'expression pour le coefficient de Joule-Thomson, μ , est donnée par l'Équation (24):

$$\begin{aligned}
 \mu \cdot R \cdot \rho &= \frac{\mu \cdot R \cdot D}{M} \\
 &= \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\varphi_2^2 - \left(\tau^2 \cdot \varphi_{\tau\tau} \cdot \varphi_1 \right)} \\
 &= \frac{R}{c_p} \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} - 1 \right) \\
 &= \frac{R}{C_p \cdot M} \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} - 1 \right)
 \end{aligned} \tag{24}$$

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4b415c43-db55-491a-b1be-729b5b9398d6/iso-20765-1-2005>

4.3.2.8 Exposant isentropique

L'expression pour l'exposant isentropique, κ , est donnée par l'Équation (25):

$$\begin{aligned}
 \kappa &= \frac{\varphi_1 - \frac{\varphi_2^2}{\tau^2 \cdot \varphi_{\tau\tau}}}{\delta \cdot \varphi_\delta} \\
 &= \frac{\varphi_1 + \frac{R}{c_v} \varphi_2^2}{Z} \\
 &= \frac{\varphi_1 + \frac{R}{C_v \cdot M} \varphi_2^2}{Z} \\
 &= \frac{\varphi_1}{Z} \cdot \frac{c_p}{c_v} = \frac{\varphi_1}{Z} \cdot \frac{C_p}{C_v}
 \end{aligned} \tag{25}$$

4.3.2.9 Vitesse du son

L'expression pour la vitesse du son, w , est donnée par l'Équation (26):

$$\begin{aligned}\frac{w^2 \cdot M}{R \cdot T} &= \varphi_1 - \frac{\varphi_2^2}{\tau^2 \cdot \varphi_{\tau\tau}} \\ &= Z \cdot \kappa = \varphi_1 \frac{c_p}{c_v} \\ &= \varphi_1 \frac{C_p}{C_v}\end{aligned}\quad (26)$$

5 Méthode de calcul

5.1 Variables d'entrée

Bien que la formulation naturelle de la méthode décrite dans la présente partie de l'ISO 20765 utilise la densité réduite, la température réduite inverse et la composition molaire comme variables d'entrée, les variables d'entrée le plus généralement disponibles sont la pression absolue, la température absolue et la composition molaire. Par conséquent, il est habituellement nécessaire de commencer par évaluer la température réduite inverse et la densité réduite à partir des variables d'entrée disponibles. La conversion de la température en température réduite inverse est donnée par l'Équation (3). La conversion de la pression en densité réduite peut être effectuée comme décrit en 5.2.

Si, en lieu et place de la pression, p , on dispose de la masse volumique, D , comme variable d'entrée, alors δ est obtenu directement sans qu'il soit nécessaire d'appliquer la procédure décrite en 5.2, puisque $\delta = D \cdot K^3 / M$, où M est la masse molaire donnée par l'Équation (16).

La composition des 21 constituants suivants est requise sous forme de fraction molaire: azote, dioxyde de carbone, méthane, éthane, propane, n-butane, isobutane (2-méthylpropane), n-pentane, isopentane (2-méthylbutane), n-hexane, n-heptane, n-octane, n-nonane, n-décane, hydrogène, oxygène, monoxyde de carbone, eau, sulfure d'hydrogène, hélium et argon. Pour les plages admissibles de la fraction molaire à laquelle s'applique la méthode, voir 6.2. Tout constituant à l'état de traces présent mais non identifié comme l'un des 21 constituants spécifiés peut être attribué de manière appropriée à l'un de ces 21 constituants (voir Annexe E).

La somme de toutes les fractions molaires doit être égale à l'unité. Si tel n'est pas le cas, la composition est alors soit imparfaite, soit incomplète. L'utilisateur ne doit poursuivre l'opération que si la source de ce problème a été identifiée et éliminée.

Si les fractions molaires des heptanes, octanes, nonanes et décane ne sont pas connues, alors l'utilisation d'une fraction du composite C_{6+} peut être acceptable. Il convient que l'utilisateur procède à une analyse de sensibilité afin de contrôler si une approximation particulière de ce type détériore le résultat.

NOTE Si la composition est connue sous la forme de fractions volumiques, celles-ci devront être converties en fraction molaire au moyen de la méthode indiquée dans l'ISO 6976 [5].