

NORME  
INTERNATIONALE

**ISO**  
**6578**

Première édition  
1991-12-01

---

---

**Hydrocarbures liquides réfrigérés — Mesurage  
statique — Procédure de calcul**

*Refrigerated hydrocarbon liquids — Static measurement — Calculation procedure*  
**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 6578:1991

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6de9530-a63e-47b0-8291-f6ff006ea141/iso-6578-1991>



Numéro de référence  
ISO 6578 : 1991 (F)

## Sommaire

	Page
1 Domaine d'application .....	1
2 Références normatives .....	1
3 Définitions et symboles .....	1
4 Volume de GPL à température normale .....	3
5 Masse .....	3
6 Contenu énergétique (contenu calorifique) .....	5
7 Conversion réciproque de la masse de liquide et du volume de vapeur dans des conditions normales .....	6
8 Masse volumique du liquide d'après sa composition .....	7
9 Valeur calorifique du liquide d'après sa composition .....	8

ITeH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 6578:1991

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6de9530-a63e-47b0-8291->

[ff006ea141/iso-6578-1991](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6de9530-a63e-47b0-8291-ff006ea141/iso-6578-1991)

### Annexes

A Constantes pour le calcul de la masse volumique .....	10
B Volumes molaires orthobariques des différents composants d'un GNL .....	11
C Corrections tenant compte de la diminution de volume des mélanges de GNL .....	12
D Valeurs calorifiques supérieures des différents composants .....	14
E Masses moléculaires relatives et facteurs de compressibilité des différents composants .....	15
F Noms chimiques des formules utilisées dans le texte .....	16
G Équation de substitution permettant de calculer le volume molaire et la masse volumique saturée des mélanges de GPL .....	17
H Température critique, facteur acentrique et volume caractéristique des composants utilisés dans les équations .....	20

© ISO 1991

Droits de reproduction réservés. 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'éditeur.

Organisation internationale de normalisation  
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

## 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 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.

iTeh STANDARD PREVIEW  
La Norme internationale ISO 6578 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 28,  
*Produits pétroliers et lubrifiants.*

(standards.iteh.ai)

Les annexes A à H font partie intégrante de la présente Norme internationale.

[ISO 6578:1991](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6de9530-a63e-47b0-8291-f6ff006ea141/iso-6578-1991>

## Introduction

Le stockage et le transport de grandes quantités d'hydrocarbures liquides réfrigérés [par exemple, gaz naturels liquéfiés (GNL) et gaz de pétrole liquéfiés (GPL)] est maintenant pratique courante. Les normes existantes pour le mesurage des produits pétroliers ne sont pas applicables, ou dans certains cas, ne sont pas appropriées à ces produits à basse température ; de ce fait, pour ces produits, ces normes doivent être remplacées ou modifiées par les procédures décrites dans la présente Norme internationale.

Un mesurage précis est essentiel lors de la vente, de l'achat et de la manipulation des hydrocarbures liquides réfrigérés. Les accords de transfert de propriété exigent la normalisation des procédures de mesurage statique, et il est recommandé que les quantités soient exprimées en unités de masse ou d'énergie. Il est reconnu que d'autres unités sont couramment utilisées pour les transferts de GPL, mais celles-ci sont exclues de la présente Norme internationale.

Bien que les principes permettant de calculer la quantité d'hydrocarbures réfrigérés liquides statiques soient essentiellement similaires à ceux applicables aux liquides pétroliers à température ambiante, il existe des différences dues à la basse température et à d'autres propriétés physiques des hydrocarbures réfrigérés. Il s'agit, entre autres, des différences suivantes :

a) Le produit liquide est à une température, ou presque, à laquelle des bulles de vapeur se forment tout d'abord dans le liquide (point d'ébullition). Dans un réservoir contenant un liquide réfrigéré, il y aura toujours une faible arrivée de chaleur traversant l'isolation qui causera une vaporisation permanente du produit. Cette vapeur aura une plus forte concentration en produits plus volatils que le liquide. Pour éviter toute surpression, cette vapeur est ventilée hors du réservoir et peut être comprimée, refroidie et reliquéfiée pour être ensuite réintroduite dans le réservoir.

b) Lorsqu'un produit liquide est transféré d'un réservoir à un autre, il se produit une arrivée de chaleur supplémentaire dans le pipeline, due également au fonctionnement de la pompe qui provoque un surcroît d'évaporation dans le réservoir de recette.

c) Pour les transferts de propriété entre l'approvisionnement et un réservoir de recette, il est courant de prévoir un circuit de retour de la vapeur entre les réservoirs afin d'éviter tout transfert de vapeur dans l'atmosphère. La reliquéfaction permet d'éviter toute surpression dans le système interconnecté.

d) Après un remplissage partiel, il peut se produire une stratification entre les couches de différentes températures et de différentes masses volumiques des contenus liquides dans un réservoir. De ce fait, il peut être nécessaire de recourir à un certain nombre de points de mesurage de la température et à un système d'échantillonnage spécial. Si l'opération de remplissage est telle qu'elle assure un mélange, ces mesures sont moins nécessaires.

e) Il est largement prouvé qu'il existe d'importants gradients de température dans l'espace de vapeur de tout réservoir contenant un hydrocarbure liquide réfrigéré. Ces gradients peuvent ne pas être linéaires. Une compensation appropriée (physique ou calculée) doit être effectuée si la lecture du dispositif de mesurage du niveau est affectée par le retrait différentiel de la suspension du capteur de niveau.

f) Les hydrocarbures liquides réfrigérés ont d'importants coefficients de température de dilatation volumétrique et des valeurs approximatives sont données ci-dessous :

- propane 0,20 %/°C
- méthane 0,35 %/°C.

Il convient d'insister particulièrement sur le fait que les erreurs de mesurage de température peuvent représenter l'essentiel de l'erreur du mesurage quantitatif, et que le plus grand soin doit présider au choix et à l'utilisation du matériel de mesurage de la température.

La présente Norme internationale est applicable au mesurage des liquides réfrigérés contenus dans des réservoirs de stockage à terre et dans des citernes de navires lorsque les liquides sont complètement réfrigérés à une pression de vapeur proche de la pression atmosphérique.

Toutefois, il n'est pas prévu que la présente Norme internationale s'applique rétroactivement aux contrats commerciaux existants, ni qu'elle s'applique si elle entre en conflit avec des réglementations gouvernementales.

Aucune recommandation n'est donnée pour le mesurage de petites quantités de liquides réfrigérés qui sont pesées directement.

Les procédures de calcul pour les hydrocarbures liquides réfrigérés composés essentiellement d'éthane, d'éthylène, ou pour les hydrocarbures liquides partiellement réfrigérés à des pressions considérablement supérieures à la pression atmosphérique, ne sont pas incluses. Il conviendra de penser à les introduire dans une révision ultérieure lorsque des données plus fiables seront disponibles.

Afin de mettre en œuvre les recommandations détaillées données dans la présente Norme internationale, il est essentiel que le personnel responsable des procédures de mesurage possède l'expérience et la compétence requises. À tout moment, la plus grande attention devra être accordée à chaque détail.

NOTE — Utilisation des unités :

a) Température — La température en Celsius est utilisée en ce qui concerne le mesurage et le transport des gaz réfrigérés et c'est celle qui a été utilisée dans la présente Norme internationale ; cependant, dans certains calculs, la température thermodynamique, c'est-à-dire en kelvins, doit être utilisée. Pour une conversion précise, il convient d'appliquer la formule  $273,15 \text{ K} \equiv 0 \text{ }^\circ\text{C}$  mais dans les exemples donnés ici, la conversion  $273 \text{ K} \equiv 0 \text{ }^\circ\text{C}$  est suffisamment précise.

b) Pression — Le pascal est l'unité de pression utilisée dans la présente Norme internationale mais le bar est également donné comme unité de substitution. Le bar peut être employé dans les calculs ; la conversion à utiliser est  $1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$ .

Page blanche

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

ISO 6578:1991

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6de9530-a63e-47b0-8291-f6ff006ea141/iso-6578-1991>

# Hydrocarbures liquides réfrigérés — Mesurage statique — Procédure de calcul

## 1 Domaine d'application

**1.1** La présente Norme internationale prescrit les calculs devant être effectués pour ajuster le volume d'un hydrocarbure liquide réfrigéré, tel que GPL et GNL, dans les conditions de mesurage à un volume de liquide ou de vapeur d'énergie équivalant à une température et une pression normales, ou à la masse ou à l'énergie équivalente (contenu calorifique).

**1.2** Lors de l'application de ces procédures, la quantité finale doit être exprimée en termes de

- masse (voir la note);
- énergie (contenu calorifique);
- volume équivalent de vapeur dans des conditions normales.

NOTE — La pratique courante de mesurage des gaz de pétrole liquéfiés (GPL) consiste à mesurer la masse apparente dans l'air.

Les facteurs donnés dans le tableau 1 peuvent être utilisés pour convertir la masse en masse apparente dans l'air.

Tableau 1

Masse volumique à 15 °C kg/m <sup>3</sup>	Facteur
500,0 à 519,1	0,997 75
519,2 à 542,1	0,997 85
542,2 à 567,3	0,997 95
567,4 à 595,0	0,998 05
595,1 à 625,5	0,998 15
625,6 à 659,3	0,998 25

**1.3** S'il est nécessaire d'exprimer le volume de liquide à une température normalisée, les procédures et corrélations permettant de déterminer ces quantités sont données à l'article 4. La température normale de référence pour les produits pétroliers est 15 °C (ISO 5024), mais il est fait référence à des calculs utilisant d'autres températures de référence couramment utilisées, à savoir 20 °C.

**1.4** Si la masse volumique du produit ou sa valeur calorifique sont nécessaires pour les calculs des quantités, ils doivent être déterminés directement ou ils peuvent être calculés à partir de l'analyse de la composition du produit. Les procédures pour ces autres calculs sont données dans les articles 8 et 9.

**1.5** Les données de base obligatoires et les références utilisées dans les procédures de calcul sont données dans les annexes A à F.

## 2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 91-1 : 1982, *Tables de mesure du pétrole — Partie 1: Tables basées sur les températures de référence de 15 °C et 60 °F.*

ISO 91-2 : 1991, *Tables de mesure du pétrole — Partie 2: Tables basées sur les températures de référence de 20 °C.*

ISO 3993 : 1984, *Gaz de pétrole liquéfiés et hydrocarbures légers — Détermination de la masse volumique ou de la densité relative — Méthode de l'aréomètre sous pression.*

ISO 5024 : 1976, *Produits pétroliers liquides et gazeux — Mesurage — Conditions normales de référence.*

## 3 Définitions et symboles

### 3.1 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent. Ces définitions sont données pour les termes particulièrement importants entrant dans les procédures de calcul appliquées aux hydrocarbures liquides réfrigérés.<sup>1)</sup>

1) Une Norme internationale (ISO 4273) sur les termes relatifs au mesurage du pétrole est actuellement en préparation.

**3.1.1 hydrocarbures liquides réfrigérés:** Liquides composés essentiellement d'hydrocarbures, stockés dans des conditions de réfrigération totale à des pressions proches de la pression atmosphérique.

**3.1.2 gaz naturels liquides (GNL):** Liquides composés essentiellement de méthane.

**3.1.3 gaz de pétrole liquéfié (GPL):** Liquides composés essentiellement des hydrocarbures suivants ou d'un mélange de ces hydrocarbures: propane, propène, butanes et butène.

**3.1.4 pouvoir calorifique supérieur (énergie spécifique) rapporté à la masse:** Nombre d'unités de chaleur générées lorsqu'une unité de masse d'un produit en phase vapeur à une température et une pression normales brûle complètement dans l'air sec. Les produits de combustion gazeux sont amenés aux mêmes conditions normales de température et de pression, mais l'eau produite est condensée sous forme de liquide en équilibre avec la vapeur d'eau.

**3.1.5 pouvoir calorifique supérieur (énergie spécifique) rapporté au volume:** Nombre d'unités générées lorsqu'une unité de volume d'un produit en phase vapeur à la température et à la pression normales brûle complètement dans l'air sec. Les produits de combustion gazeux sont ramenés aux mêmes conditions normales de température et de pression, mais l'eau produite est condensée sous forme de liquide en équilibre avec la vapeur d'eau.

**3.1.6 masse volumique orthobarique:** Masse du liquide occupant une unité de volume à une température donnée, le liquide étant en équilibre avec sa phase vapeur.

**3.1.7 densitomètre:** Instrument servant à mesurer la masse volumique.

**3.1.8 base de volume (idéale):** Volume calculé sur la base selon laquelle la vapeur se comporte comme un gaz idéal.

**3.1.9 base de volume (réelle):** Volume calculé sur la base selon laquelle la vapeur se comporte comme un gaz très compressible.

**3.1.10 facteur de compressibilité:** Rapport entre le volume réel d'une masse de gaz donnée à une température et à une pression spécifiées et le même volume dans les mêmes conditions calculé à partir de la loi du gaz idéal.

## 3.2 Symboles

Les symboles suivants sont définis en fonction de leur utilisation dans la présente Norme internationale, cependant certains symboles ont des acceptions plus restreintes lorsqu'ils sont utilisés dans certaines équations. L'acception restreinte est alors donnée à la suite de ces équations.

$H_{s,m,i}$  est la valeur du pouvoir calorifique supérieur, en mégajoules par kilogramme, rapporté à la masse d'un élément  $i$ , de l'annexe D;

$H_{s,m}$  est la valeur du pouvoir calorifique supérieur, en mégajoules par kilogramme, rapporté à la masse du liquide;

$H_{s,V,i}$  est la valeur du pouvoir calorifique supérieur, en mégajoules par mètre cube, rapporté au volume (idéal) de l'élément  $i$ , de l'annexe D;

$H_{s,vol}$  est la valeur du pouvoir calorifique supérieur, en mégajoules par mètre cube, rapporté au volume de la vapeur à la température et à la pression normales appropriées;

$m$  est la masse, en kilogrammes, du produit transféré, à savoir le liquide plus la vapeur;

$m_{liq}$  est la masse, en kilogrammes, du liquide;

$M_i$  est la masse moléculaire, en kilogrammes par kilomole, de l'élément  $i$  (voir annexes E et G);

$M_{mix}$  est la masse moléculaire, en kilogrammes par kilomole, du mélange de vapeur;

$P_s$  est la pression normale de référence, à savoir 101,325 kPa (1,013 25 bar);

$P_{vap}$  est la pression, en kilopascals (bars), de la vapeur dans le réservoir;

$Q$  est l'énergie nette, en mégajoules, transférée basée sur la valeur calorifique supérieure;

$Q_{liq}$  est le contenu énergétique (calorifique), en mégajoules, du liquide;

$t$  est la température, en degrés Celsius, du liquide;

$T_s$  est la température normale de référence, à savoir 288,15 K (15 °C);

$T_{vap}$  est la température, en kelvins, de la vapeur dans le réservoir;

$V_i$  est le volume molaire, en mètres cubes par kilomole, de l'élément  $i$ , sous forme de liquide à la température  $t$  °C;

$V_{liq}$  est le volume, en mètres cubes, du liquide à sa température  $t$ ;

$V_m$  est le volume molaire gazeux idéal, en mètres cubes par kilomole, dans des conditions normales de température et de pression:

$$22,413\ 8\ \text{m}^3/\text{kmol}\ \text{à}\ P_s\ \text{et}\ 273,15\ \text{K}\ (0\ \text{°C});$$

$$23,644\ 7\ \text{m}^3/\text{kmol}\ \text{à}\ P_s\ \text{et}\ T_s;$$

$V_{vap}$  est le volume de vapeur, en mètres cubes, dans le réservoir;

$x_i ; x_j$  sont les fractions molaires des éléments  $i$  et  $j$ , respectivement;

$x_1$  est la fraction molaire du méthane dans le GNL;

$x_2$  est la fraction molaire de l'azote dans le GNL;



$Z_i$  est le facteur de compressibilité de l'élément  $i$  à la température et à la pression requises;

$Z_{\text{mix}}$  est le facteur de compressibilité du mélange de vapeur dans des conditions connues de température et de pression;

$\rho_l$  est la masse volumique, en kilogrammes par mètre cube, du liquide à la température  $t$ .

**Autres indices :** F et I indiquent respectivement les mesurages ou propriétés du produit final et initial dans l'un ou l'autre des réservoirs utilisés pour un transfert.

NOTE — D'autres unités peuvent être utilisées dans les calculs de la présente Norme internationale dans la mesure où leurs grandeurs restent cohérentes, mais la température et la pression de la vapeur devraient être exprimées en unités absolues.

## 4 Volume de GPL à température normale

La procédure permettant de convertir le volume d'un GPL réfrigéré en son volume équivalent à une température normale et à la pression d'équilibre correspondante comporte les aspects suivants :

a) De très importants facteurs peuvent être appliqués pour corriger la masse volumique observée en masse volumique à température normale, par exemple, une correction tenant compte de l'effet d'une différence de température de 60 °C peut être nécessaire pour le propane réfrigéré. Dans la mesure où le GPL ne contient pas plus de 20 % d'hydrocarbures insaturés, les tables de correction mentionnées dans l'ISO 91 doivent être utilisées pour les corrections de volume. Toutefois, les tables correspondant à cette gamme de masses volumiques sont celles provenant de l'édition de 1952 des Tables de mesure du pétrole API-ASTM-IP (voir 3.4 de l'ISO 91-1 : 1982). Si le GPL contient 20 % ou plus d'hydrocarbures insaturés, la masse volumique doit être calculée en appliquant la méthode donnée au chapitre 8.

b) La teneur équivalente en liquide dans l'espace de vapeur d'un réservoir contenant un GPL réfrigéré est beaucoup moins importante que si le réservoir et son contenu sont à température ambiante. De ce fait, toute erreur dans la prise en compte de la teneur équivalente en liquide dans l'espace de vapeur aura moins d'importance.

### NOTES

1 Les exemples suivants illustrent la grandeur des erreurs qui peuvent être introduites lors de l'utilisation des tables mentionnées dans l'ISO 91 :

- butène et propène purs : l'erreur maximale sera d'environ 2 % pour une correction de  $-60$  °C à  $+20$  °C;
- mélanges contenant environ 20 % d'hydrocarbures insaturés : l'erreur typique sera d'environ 0,1 % pour une différence de température de 20 °C.

2 Le volume d'un liquide dont la pression de vapeur est beaucoup plus élevée que la pression atmosphérique à une température normale de 15 °C (ou 20 °C ou 60 °F) peut être considérée uniquement comme une pseudo condition qu'il n'est pratique d'utiliser que dans une procédure permettant d'obtenir la masse volumique à des températures de réfrigération à l'aide d'un aréomètre sous pression dans des conditions ambiantes (voir ISO 3993).

## 5 Masse

### 5.1 Masse de la phase liquide

5.1.1 Calculer la masse, en kilogrammes, du liquide ( $m_{\text{liq}}$ ) en utilisant l'équation

$$m_{\text{liq}} = V_{\text{liq}} \rho \quad \dots (1)$$

où  $V_{\text{liq}}$  et  $\rho$  sont donnés pour la même valeur à la température  $t$ .

#### EXEMPLE

Volume mesuré de GNL liquide dans un réservoir  
= 45 550 m<sup>3</sup> à une température de  $-163,5$  °C

Masse volumique calculée à  $-163,5$  °C = 468,3 kg/m<sup>3</sup>

Masse de GNL ( $m_{\text{liq}}$ ) = 45 550 × 468,3 kg  
= 21,33 × 10<sup>6</sup> kg ou 21,33 × 10<sup>3</sup> t

5.1.2 La masse volumique à une température spécifiée doit être mesurée en utilisant un aréomètre sous pression (GPL), un densitomètre approprié, ou doit être calculée à partir d'une analyse de composition (voir chapitre 8).

5.1.3 Si la température réelle  $t_2$  à laquelle la masse volumique ne diffère pas de plus de 5 °C par rapport à la température  $t_1$  du volume global de liquide contenu dans le réservoir, la masse volumique observée peut alors être corrigée pour tenir compte de la température requise pour le volume en appliquant l'équation

$$\rho_{t,1} = \rho_{t,2} + F(t_2 - t_1) \quad \dots (2)$$

$\rho_{t,1}$  et  $\rho_{t,2}$  sont les masses volumiques aux températures  $t_1$  et  $t_2$  respectivement;

$F$  est le facteur de correction de masse volumique approprié applicable au liquide donné. Les unités de  $F$  doivent être compatibles avec les unités de  $\rho$ , par exemple lorsque  $\rho$  est exprimée en kilogrammes par mètre cube,  $F$  est exprimé en kilogrammes par mètre cube degré Celsius.

Produit	$F$ kg/(m <sup>3</sup> ·°C)
GNL [ $> 80$ % (m/m) méthane]	1,4
Propanes liquides [ $> 60$ % (m/m) propane]	1,2
Butanes liquides [ $> 60$ % (m/m) butane]	1,1

#### EXEMPLE

La masse volumique du GNL est 464,8 kg/m<sup>3</sup> à  $t_2 = -161,0$  °C. Quelle est la masse volumique du GNL à  $-163,5$  °C ?

En remplaçant dans l'équation (2)

$$\begin{aligned} \rho_{t,1} &= 464,8 + 1,4[-161,0 - (-163,5)] \\ &= 464,8 + 3,5 \\ &= 468,3 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

5.1.4 La masse volumique du GPL réfrigéré peut être déterminée à la température normale de 15 °C (ou 20 °C ou 60 °F) en utilisant un aréomètre sous pression (voir ISO 3993).

On laisse l'échantillon de liquide transféré dans un réservoir adéquat approcher la température ambiante sous pression, sans perte de vapeur, avant de l'introduire dans le cylindre de l'aréomètre.

**5.2 Correction pour la phase vapeur**

**5.2.1** Lorsqu'une quantité d'hydrocarbure liquide réfrigéré est transférée, il est nécessaire d'effectuer une correction pour tenir compte de la masse de vapeur occupant le volume dans lequel, ou à partir duquel, le liquide est transféré.

En supposant que tous les mesurages ont été faits dans des conditions d'équilibre du liquide, l'équation suivante peut être appliquée aux mesurages effectués dans le réservoir d'approvisionnement ou dans le réservoir de recette.

Masse transférée = masse finale – masse initiale

$$\therefore m = \left[ V_{liq,F} \rho_F + V_{vap,F} \times \frac{T_s}{T_{vap,F}} \times \frac{P_{vap,F}}{P_s} \times \frac{M_{mix,F}}{V_m Z_{mix,F}} \right] - \left[ V_{liq,I} \rho_I + V_{vap,I} \times \frac{T_s}{T_{vap,I}} \times \frac{P_{vap,I}}{P_s} \times \frac{M_{mix,I}}{V_m Z_{mix,I}} \right] \quad (3)$$

où  $V_{liq}$  et  $\rho$  sont mesurés à la température de stockage,  $t$ .

Si l'n'est pas possible de mesurer la masse volumique du contenu liquide d'un réservoir,  $\rho_F$  et  $\rho_I$  ne peuvent pas être déterminés. En utilisant la masse volumique mesurée du liquide transféré, l'équation simplifiée (3a) doit être appliquée pour calculer la masse du produit transféré.

$$m = V_{liq} \rho - \left( V_{liq} \times \frac{T_s}{T_{vap,F}} \times \frac{P_{vap,F}}{P_s} \times \frac{M_{mix,F}}{V_m Z_{mix,F}} \right) \quad \dots (3a)$$

où  $V_{liq} = V_F - V_I$  (c'est-à-dire le volume de liquide transféré);  $\rho$  est la masse volumique moyenne du liquide transféré.

Pour un réservoir de recette qui ne contient pas déjà d'hydrocarbure liquide ou de vapeur, l'équation (3) devient

$$m = V_{liq,F} \rho + \left( V_{vap,F} \times \frac{T_s}{T_{vap}} \times \frac{P_{vap}}{P_s} \times \frac{M_{mix}}{V_m Z_{mix}} \right) \quad \dots (3b)$$

**NOTES**

1 Si l'espace de vapeur peut être négligé par rapport au volume de liquide ou si le volume de liquide peut être négligé par rapport à l'espace de vapeur dans les conditions initiales ou finales, dans les réservoirs, l'équation simplifiée (3a) peut être utilisée dans la pratique.

2 La masse de vapeur étant faible par rapport à la masse de liquide transférée, la connaissance exacte de la composition de la vapeur et l'utilisation du facteur de compressibilité ne sont pas essentielles; le volume molaire gazeux idéal peut être utilisé sans correction et des

valeurs typiques peuvent être utilisées pour la température et la pression dans l'espace de vapeur ( $T_{vap}$ ,  $P_{vap}$ ) ainsi que pour la masse moléculaire et le facteur de compressibilité du mélange de vapeur ( $M_{mix}$ ,  $Z_{mix}$ ).

3 Pour les mesurages dans le réservoir de recette, l'équation (3a) est uniquement valable si la température du liquide arrivant est la même que celle du liquide déjà contenu dans le réservoir. L'erreur liée à cette supposition est maximale lorsque des volumes égaux de liquide sont en cause et est de l'ordre de 0,004 % par kelvin pour du GNL.

**EXEMPLE 1**

Transfert de GNL à partir d'un réservoir

Volume de GNL liquide transféré à la température $t$	= 45 550 m <sup>3</sup>
Température mesurée du liquide, $t$	= - 163,5 °C
Masse volumique du liquide à - 163,5 °C	= 468,3 kg/m <sup>3</sup>
Température moyenne de la vapeur après le transfert	= - 118 °C = 155 K
Pression de la vapeur après le transfert	= 110 kPa
Il peut être supposé que la masse moléculaire du mélange de vapeur est celle du méthane pur (obtenue à partie de l'annexe B)	= 16,042 6 kg/mol

Le facteur de compressibilité pour la vapeur peut être pris comme unité avec une erreur résultante inférieure à 0,05 %.

$$m = \left[ (45\ 550 \times 468,3) - \left( 45\ 550 \times \frac{288}{155} \times \frac{110}{101,3} \times \frac{16,042\ 6}{23,644\ 7} \right) \right]$$

$$= 21\ 331\ 065 - 62\ 355$$

$$= 21\ 269 \times 10^3 \text{ kg ou } 21\ 269 \text{ t}$$

**EXEMPLE 2**

Transfert de GPL à partir d'un réservoir

Calculer la masse de GPL transféré à partir d'un réservoir aux conditions suivantes:

	Initiale	Finale
Volume du liquide dans le réservoir à 15 °C (m <sup>3</sup> )	45 550	850
Masse volumique du liquide à 15 °C (kg/m <sup>3</sup> )	507	507
Espace de vapeur contenu dans le réservoir (m <sup>3</sup> )	950	40 000
Température de la vapeur dans le réservoir (K)	233	250
Pression de la vapeur (bar)	1,08	1,12

Il peut être supposé que la masse moléculaire du mélange de vapeur est celle du liquide et que le facteur de compressibilité est égal à l'unité, c'est-à-dire

$$M_{\text{mix}} = 44,153 \text{ kg/kmol}$$

En remplaçant dans l'équation (3), il vient:

$$m = \left[ (45\,550 \times 507) + \left( 950 \times \frac{288}{233} \times \frac{1,08}{1,013} \times \frac{44,153}{23,644\,7} \right) \right] - \left[ (850 \times 507) + \left( 40\,000 \times \frac{288}{250} \times \frac{1,12}{1,013} \times \frac{44,153}{23,644\,7} \right) \right]$$

$$= (23\,093\,850 + 2\,338) - (430\,950 + 95\,137)$$

$$= 22\,570 \times 10^3 \text{ kg ou } 22\,570 \text{ tonnes}$$

**5.2.2** S'il est nécessaire d'effectuer des mesurages de l'énergie dans un but de stockage, il conviendra, de même, de prendre en considération l'équivalent liquide de la vapeur dans le volume du réservoir non occupé par le liquide.

## 6 Contenu énergétique (contenu calorifique)

**6.1** Calculer le contenu énergétique d'un liquide en appliquant l'équation

$$Q_{\text{liq}} = m_{\text{liq}} H_{s,m}$$

**6.2** Lorsqu'une quantité d'hydrocarbure liquide réfrigéré est transférée, il est nécessaire d'effectuer une correction pour tenir compte du contenu calorifique de la vapeur occupant le volume dans lequel, ou à partir duquel, le liquide est transféré.

En supposant que tous les mesurages ont été effectués dans des conditions d'équilibre du liquide, appliquer l'équation aux mesurages effectués dans le réservoir d'approvisionnement ou dans le réservoir de recette.

Energie fournie = contenu énergétique final - contenu énergétique initial

$$\therefore Q = \left[ V_{\text{liq},F} Q_F H_{s,m,F} + V_{\text{vap},F} \times \frac{T_s}{T_{\text{vap},F}} \times \frac{P_{\text{vap},F}}{P_s} \times H_{s,\text{vol},F} \right] - \left[ V_{\text{liq},I} Q_I H_{s,m,I} + V_{\text{vap},I} \times \frac{T_s}{T_{\text{vap},I}} \times \frac{P_{\text{vap},I}}{P_s} \times H_{s,\text{vol},I} \right] \dots (5)$$

où

$$H_{s,\text{vol}} = \frac{M_{\text{mix}}}{V_m Z_{\text{mix}}} \times H_{s,m} = \text{valeur calorifique supérieure}$$

rapportée au volume de la vapeur à la température et à la pression normales, en mégajoules par mètre cube.

S'il n'est pas possible de mesurer la masse volumique du contenu liquide d'un réservoir,  $\rho_F$  et  $\rho_I$  ne peuvent pas être déterminés. En utilisant la masse volumique mesurée du liquide transféré, l'équation simplifiée (5a) peut être appliquée pour calculer l'énergie nette délivrée ou reçue.

$$Q = V_{\text{liq}} \rho H_{s,m} - \left( V_{\text{liq}} \times \frac{T_s}{T_{\text{vap}}} \times \frac{P_{\text{vap}}}{P_s} \times H_{s,\text{vol}} \right) \dots (5a)$$

où

$V_{\text{liq}} = V_{\text{liq},F} - V_{\text{liq},I}$ , c'est-à-dire le volume de liquide transféré;

$\rho$  est la masse volumique moyenne du liquide transféré.

Pour un réservoir de recette qui ne contient pas déjà d'hydrocarbure liquide ou de vapeur, l'équation (5) devient

$$Q = V_{\text{liq}} \rho H_{s,m} + \left( V_{\text{vap},F} \times \frac{T_s}{T_{\text{vap}}} \times \frac{P_{\text{vap}}}{P_s} \times H_{s,\text{vol}} \right) \dots (5b)$$

NOTE - Voir 5.2.1, notes 1, 2 et 3 mais à la place d'«équation (3a)» lire «équation (5a)».

## EXEMPLE 1

Transfert de GNL à partir d'un réservoir

Volume de GNL liquide transféré à la température $t$	= 45 550 m <sup>3</sup>
Température du liquide, $t$	= -163,5 °C
Masse volumique du liquide à -163,5 °C	= 468,3 kg/m <sup>3</sup>
Température moyenne de la vapeur après le transfert	= -118 °C = 155 K
Pression de la vapeur après le transfert	= 110 kPa
Valeur calorifique supérieure rapportée à la masse du liquide en utilisant l'exemple 1 donné en 9.2, c'est-à-dire $H_{s,m}$	= 54,216 MJ/kg

Il peut être supposé que la valeur calorifique supérieure du volume de base rapportée au mélange de vapeur est celle du méthane pur à 101,325 kPa et à 15 °C (voir annexe D)

$$= 37,696 \text{ MJ/m}^3$$

Le facteur de compressibilité pour la vapeur est supposé être l'unité et l'erreur résultante sera inférieure à 0,005 %.

$$Q = (45\,550 \times 468,3 \times 54,216) - \left( 45\,550 \times \frac{288}{155} \times \frac{110}{101,3} \times 37,696 \right)$$

$$= (1\,156,848 \times 10^6) - 3,46 \times 10^6$$

$$Q = 1\,153,0 \times 10^6 \text{ MJ}$$