
Pétrole brut et produits pétroliers — Facteurs de compressibilité des hydrocarbures dans la plage de 638 kg/m³ à 1 074 kg/m³

iTeh STANDARD PREVIEW
Crude petroleum and petroleum products — Compressibility factors for hydrocarbons in the range 638 kg/m³ to 1 074 kg/m³
(standards.iteh.ai)

ISO 9770:1989

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/132ed73a-a01a-4ddf-a282-40147a2ef323/iso-9770-1989>



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 approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

ITEH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

La Norme internationale ISO 9770 a tout d'abord été publiée par l'American Petroleum Institute, puis adoptée par l'ISO/TC 28, *Produits pétroliers et lubrifiants*.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/132ed73a-a01a-4ddf-a282-40147a2ef323/iso-9770-1989>

© ISO 1989

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

Pétrole brut et produits pétroliers — Facteurs de compressibilité des hydrocarbures dans la plage de 638 kg/m³ à 1 074 kg/m³

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

La norme suivante¹⁾ a été adoptée comme Norme internationale ISO 9770 : 1989 :

Manual of Petroleum Measurement Standards

Chapter 11.2.1M — Compressibility Factors for Hydrocarbons — 638-1074 Kilograms per Cubic Metre Range

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/132ed73a-a01a-4ddf-a282-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/132ed73a-a01a-4ddf-a282-40147a2ef323/iso-9770-1989)

publiée en août 1984 par

[40147a2ef323/iso-9770-1989](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/132ed73a-a01a-4ddf-a282-40147a2ef323/iso-9770-1989)

American Petroleum Institute
1220 L Street, Northwest
WASHINGTON, D.C. 20005
USA

NOTES

1 L'API a accepté d'adresser au Secrétariat central de l'ISO, au moins 12 mois à l'avance, toute intention propre, d'amender, réviser ou retirer la norme API.

2 Il y a lieu de noter que l'API a publié un erratum à la publication d'août 1984, et que celui-ci fait partie de la présente Norme internationale.

Cet erratum est libellé comme suit (les corrections ont été apportées dans la version française de la norme API jointe à la présente Norme internationale):

ERRATUM

Page 3, remplacer la première phrase ainsi que l'exemple figurant en haut de la page, comme suit:

D'après la table de compressibilité, le facteur F est 0,649 divisé par 1.000.000 ou 0,000000649. On a donc:

$$\begin{aligned}V_e &= 1000 / (1 - 0,000000649 * 3450) \\ &= 1002,2 \text{ m}^3.\end{aligned}$$

3 En 11.2.1M de la norme API, le terme «molecular volume» est utilisé. Le terme correspondant, cité dans l'ISO 31-8:1980 (E) est «molar volume» (8-6.1). Toutefois, la fin du texte y compris le mode de calcul (11.2.1.5.2M) donnent la quantité par rapport à l'inverse de la masse volumique, c'est-à-dire «specific volume» [3.1 de l'ISO 31-3 : 1978 (E)], et c'est en ce sens que cela doit être compris.

4 Pour les besoins de l'utilisateur, une traduction française du texte de la norme API est jointe à la présente Norme internationale.

1) Des copies de la norme API peuvent être obtenues auprès de l'API à l'adresse susmentionnée.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 11.2.1M — FACTEURS DE COMPRESSIBILITÉ DES HYDROCARBURES : PLAGES 638-1074 KILOGRAMMES PAR MÈTRE CUBE

	Page
11.2.1.1M Objet	1
11.2.1.2M Historique et élaboration	1
11.2.1.3M Base de données et limites de la norme	1
11.2.1.4M Exemple d'utilisation de la norme	1
11.2.1.5M Modèle mathématique pour la norme	3
11.2.1.5.1M Modèle de base et analyse de l'incertitude	3
11.2.1.5.2M Procédure de calcul	4
11.2.1.6M Références	4
Table des facteurs de compressibilité des hydrocarbures dans la plage 638-1074 kilogrammes par mètre cube en fonction de la masse volumique (15 °C) et de la température de mesurage (degrés Celsius)	5
ITeH STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)	
Tables	
1—Base de données et conditions expérimentales pour le chapitre 11.2.1M	2
2—Analyse de l'incertitude volumétrique pour le chapitre 11.2.1M	3
ISO 9770:1989	
Figure https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/132ed73a-a01a-4ddf-a282-804222540720/iso-9770-1989	
1—Comparaison de la base de données et des zones extrapolées pour le chapitre 11.2.1M	2

SECTION 2 — FACTEURS DE CORRECTION DU VOLUME POUR LES BOUCLES D'ÉTALONNAGE ET FACTEURS DE COMPRESSIBILITÉ DES HYDROCARBURES

11.2.1M Facteurs de compressibilité des hydrocarbures : Plage 638-1074 kilogrammes par mètre cube

11.2.1.1M OBJET

L'objet de la présente norme est de corriger les volumes d'hydrocarbures mesurés sous pression pour avoir les volumes correspondant à la pression d'équilibre pour la température mesurée. La présente norme contient des facteurs de compressibilité donnés en fonction de la température de mesurage et de la densité (15 °C) du matériau mesuré. La version correspondante en unités ordinaires est celle du chapitre 11.2.1.

11.2.1.2M HISTORIQUE ET ÉLABORATION

La précédente norme sur la compressibilité (Norme API 1101, Annexe B, Tableau II) des hydrocarbures dans la plage de densité API 0-90° a été élaborée en 1945 par Jacobson et al. [1]. Elle se fonde sur des données limitées obtenues en grande partie sur des composés purs et des matériaux de type huile de lubrification. Ainsi, la norme 1101 a été élaborée sans l'aide d'un modèle mathématique.

En 1981, un groupe de travail du comité de mesurage statique du pétrole a été constitué pour réviser les tables de compressibilité de la norme 1101. Ce groupe a effectué une recherche documentaire importante et n'a trouvé que trois sources d'information sur la compressibilité. La base de données qui en a découlé est plus importante que celle utilisée dans la norme précédente. Malheureusement, elle n'est pas assez grande pour couvrir toute la gamme des opérations commerciales. Lorsque de nouvelles données seront disponibles, elles seront incorporées dans une norme élargie. La présente norme remplace actuellement la norme périmée 1101, Annexe B, tableau II, plage de densité API 0-100°.

11.2.1.3M BASE DE DONNÉES ET LIMITES DE LA NORME

La norme réelle est la table imprimée qui suit le présent texte. Les phases du modèle mathématique et de l'ordinateur utilisées pour obtenir la présente norme ne devraient pas être envisagées dans la norme. Elles peuvent être utilisées pour élaborer des sous-programmes d'ordinateur pour différents langages et différentes machines permettant de reproduire les résultats dans la table imprimée. Une bande ordinateur est également disponible auprès de l'API et contient les mêmes informations que la table imprimée. La bande peut être utilisée pour l'élaboration de divers sous-programmes d'ordinateur.

La base de données (voir Tableau 1) pour la présente norme a été obtenue à partir des travaux de Jessup [2], Downer et Gardiner [3] et Downer [4]. Elle comprend sept pétroles bruts, cinq essences et sept gasoles-distillats moyens. Les données concernant l'huile lubrifiante et provenant de ces mêmes sources n'ont pas été incluses. Les résultats du modèle ont indiqué que les huiles de lubrification constituent une population différente des pétroles bruts et autres produits raffinés. Leur inclusion double l'incertitude de corrélation de la compressibilité. C'est pourquoi les huiles de lubrification ne sont pas normalement mesurées sous pression et ne nécessitent pas l'utilisation de la présente norme.

Les limites des données expérimentales sont 681 à 934 kilogrammes par mètre cube, 0 à 150 °C, et 0 à 4902 kilopascals. Suite à une étude du Committee on Static Petroleum Measurement (COSM) et du Committee on Petroleum Measurement (COPM), les limites réelles de la norme sont plus élevées : 638 à 1074 kg/m³, -30 à 90 °C, et 0 à 10300 kilopascals. C'est pourquoi certaines parties de la norme représentent des résultats extrapolés (figure 1). Dans ces parties extrapolées, il se peut que l'analyse d'incertitude dont il est question en 11.2.1.5M ne soit pas valable.

Dans la présente norme, les incréments sont 0,25 °C et 2 kg/m³. L'interpolation d'incrément plus petits n'est pas recommandée.

11.2.1.4M EXEMPLE D'UTILISATION DE LA NORME

Dans la présente norme, le facteur de compressibilité (F) est utilisé de façon normale pour la correction du volume (* signifie multiplication) :

$$V_e = V_m / [1 - F*(P_m - P_e)]$$

où

V_e = volume à la pression d'équilibre, P_e (point de bulle).

V_m = volume à la pression de mesurage, P_m .

Par exemple, calculer le volume de 1000 m³ (V_m) de fioul à 933,6 kg/m³ (15 °C) mesuré à la pression de 3450 kilopascals (P_m) et à 37,85 °C. Supposons une valeur de P_e de 0 kilopascal. On arrondit d'abord la masse volumique et la température à 2 kg/m³ et 0,25 °C près, dans ce cas, 934 kg/m³ et 37,75 °C.

Table 1 — Base de données et conditions expérimentales pour le chapitre 11.2.1M

Nom de l'échantillon et origine	Masse volumique kg/m ³ à 15 °C	Température °C	Pression kPa	Nombre de points de données	Référence
Pétroles bruts					
ADMEG (Zakum) d'exportation	825,2	4,44-76,67	0-3503	5	3
Barrow Island	839,5	4,44-76,67	0-3503	5	3
Libyen (Tobrouk) d'exportation	842,5	37,78-76,67	0-3503	3	3
Iranien léger d'exportation	856,4	4,44-76,67	0-3503	5	3
Koweïtien d'exportation	870,4	4,44-76,67	0-3503	5	3
Iranien lourd d'exportation	872,7	4,44-76,67	0-3503	5	3
d'Alaska (North Slope)	890,9	15,56-76,67	0-3503	4	3
Essences					
légère catalytique craquée de 1 ^{ère} distillation	680,9	4,44-37,78	0-3399	3	4
craquée	734,4	4,44-60,0	0-3399	4	4
d'aviation de combat	768,0	0,0-65,0	0-4902	5	2
d'aviation de combat	697,0	0,0-70,0	0-4902	5	2
d'aviation de combat	695,0	0,0-70,0	0-4902	5	2
Kérosène et fioul léger					
kérosène (sans odeur)	789,7	4,44-76,67	0-3399	5	4
DERV	847,6	4,44-76,67	0-3399	5	4
Gasoles et fioul lourd					
gasole	833,6	4,44-76,67	0-3399	5	4
fioul du commerce	934,1	37,78-60,0	0-3399	2	4
gasole du Bassin de Los Angeles	873,4	0,0-150,0	0-4902	3	2
gasole de l'Oklahoma	880,7	0,0-150,0	0-4902	3	2
gasole du Centre	883,0	0,0-150,0	0-4902	3	2

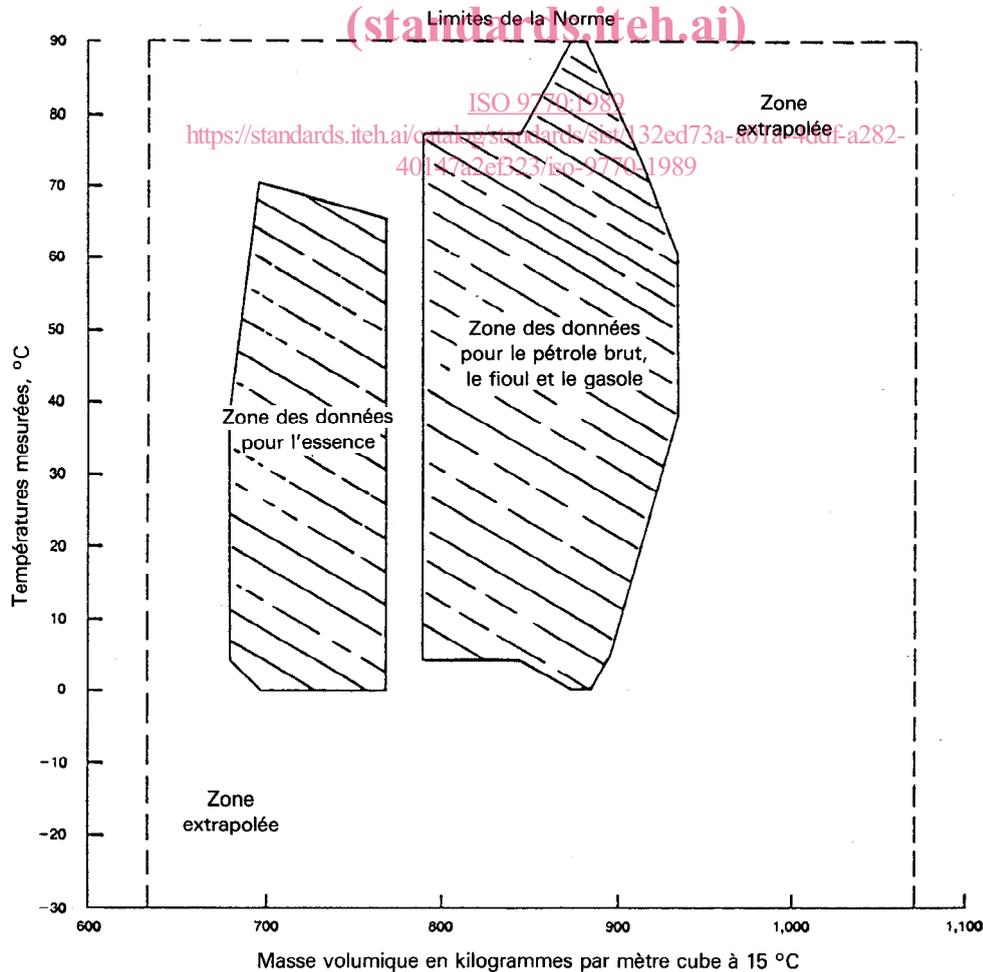


Figure 1 — Comparaison de la base de données et des zones extrapolées pour le chapitre 11.2.1M

D'après la table de compressibilité, le facteur F est 0,649 divisé par 1.000.000, soit 0,00000649. On a donc

$$V_e = 1\,000 / (1 - 0,00000649 * 3450) = 1002,2 \text{ m}^3$$

Pour avoir d'autres exemples et de plus amples détails, voir le *Manual of Petroleum Measurement Standards*, Chapitre 12.2.

11.2.1.5M MODÈLE MATHÉMATIQUE POUR LA NORME

11.2.1.5.1M Modèle de base et analyse de l'incertitude

Le modèle mathématique de base utilisé pour l'élaboration de la présente norme est une fonction exponentielle (EXP) du facteur de compressibilité par rapport à la température et au carré du volume massique, c'est-à-dire :

$$F = \text{EXP} (A + B * T + C/\text{RHO}^2 + D * T/\text{RHO}^2)$$

où

A, B, C et D = constantes.

T = température en °C.

RHO = masse volumique, en grammes par centimètre cube à 15 °C. $1/\text{RHO}$ est proportionnel au volume massique.

La compressibilité est donc le résultat de l'interaction du carré du volume massique et de la température. L'équation ci-dessus est compatible avec l'élaboration de la norme API 2540 (*Manual of Petroleum Measurement Standards*, Chapitre 11.1) pour ce qui est de l'expansion thermique des hydrocarbures. L'utilisation de puissances élevées de T et de RHO ne permet pas de réduire nettement l'incertitude du facteur de compressibilité.

Si l'on utilise l'équation et la base de données ci-dessus, l'incertitude maximale du facteur de compressibilité est de $\pm 6,5 \%$ pour un niveau de confiance de 95 %. Donc, au pire, on devrait s'attendre à ce que le facteur réel de compressibilité pour un produit donné soit supérieur de 6,5 % ou inférieur de 6,5 % à la valeur de la norme. Cette hypothèse n'est vraie que dans les limites de la base de données. Il se peut qu'elle ne se vérifie pas pour les parties extrapolées de la norme.

Pour évaluer l'incertitude possible du volume calculé à la pression d'équilibre à l'aide de la base de données et de l'équation ci-dessus, deux méthodes ont été choisies. Tout d'abord, on a supposé que seule l'incertitude de corrélation concernant la compressibilité moyenne de $\pm 6,5 \%$ était significative. Avec cette méthode, l'incertitude volumétrique devrait être de l'ordre de 0,02 à 0,10 % selon les conditions de fonctionnement (Table 2, Base A). Ces incertitudes concordent avec l'incertitude maximale de 0,10 % recommandée par une étude du COSM et du COPM.

La première analyse de l'incertitude volumétrique suppose que la compressibilité moyenne n'est pas fonction de la pression. Pour les basses pressions, cette hypothèse est vérifiée. Pour les hautes pressions, la compressibilité moyenne diminuera lorsque la pression augmentera. On ne connaît pas précisément la pression pour laquelle cet effet devient significatif pour les matériaux de la présente norme. Cependant, l'analyse des données de Jessup [2] indique que la compressibilité moyenne pourrait diminuer d'environ 0,00073 % par kilopascal lorsque la pression augmente. Si l'on incorpore à la fois l'incertitude de corrélation de compressibilité et l'incertitude de pression potentielle, on obtient des incertitudes volumétriques de l'ordre de 0,03 à 0,21 % (Table 2, Base A + B). Donc, l'utilisation de la présente norme avec des pressions opérationnelles supérieures à la limite expérimentale de 4902 kilopascals pourrait multiplier l'incertitude du volume calculé par deux par rapport à l'incertitude fondée sur les données disponibles.

Table 2 — Analyse de l'incertitude volumétrique pour le chapitre 11.2.1M

Compressibilité moyenne kPa ⁻¹	Pourcentage de l'incertitude du volume, pour différentes pressions, kPa					
	Incertainde de corrélation seulement Base A			Incertainde de corrélation + pression Base A + B		
	3447	6895	10342	3447	6895	10342
1,45*10 ⁻⁶ (Note 1)	0,03	0,07	0,10	0,05	0,12	0,21
0,87*10 ⁻⁶ (Note 2)	0,02	0,04	0,06	0,03	0,08	0,13

Base : A incertainde de corrélation de 6,5 % pour la prédiction de la compressibilité moyenne.

B incertainde de 0,00073 %/kPa pour la compressibilité moyenne due à l'effet de la pression [2].

Notes :

- Valeur de la compressibilité type pour l'essence à 720 kg/m³ (15 °C) à 38 °C ou le fioul à 800 kg/m³ à 93 °C.
- Valeur de la compressibilité type pour l'essence à 738 kg/m³ à -7 °C ou le pétrole brut à 850 kg/m³ à 38 °C.

11.2.1.5.2M Procédure de calcul

Cette procédure est recommandée pour les ordinateurs ayant une précision égale ou supérieure à 6 ou 7 chiffres après la virgule flottante.

Phase 1 : Initialiser la température en °C.

$T = XX.XX$: $-30,00 \leq T \leq 90,00$, arrondi à 0,25 °C près par

$TT = INT(T)$: c'est-à-dire troncature

$DIFF = T - TT$

Si $DIFF \geq 0$ alors $SIGN = 1,0$ sinon $SIGN = -1,0$.

$DIFF = ABS(DIFF)$: c'est-à-dire valeur absolue.

Si $DIFF < 0,125$ alors $T = TT$.

Si $0,125 \leq DIFF < 0,375$ alors $T = TT + 0,25 * SIGN$

Si $0,375 \leq DIFF < 0,625$ alors $T = TT + 0,50 * SIGN$

Si $0,625 \leq DIFF < 0,875$ alors $T = TT + 0,75 * SIGN$

Si $DIFF \geq 0,875$ alors $T = TT + 1,00 * SIGN$

Phase 2 : Initialiser la masse volumique en kilogrammes par mètre cube.

$RHO = XXXX$: $638 \leq RHO \leq 1074$, arrondi au 2 le plus proche, par

$RHOH = INT(RHO/2,0)$.

$DIFF = RHO - 2 * RHOH$.

Si $DIFF \geq 1,0$ alors $RHO = 2 + 2 * RHOH$.

Sinon $RHO = 2 * RHOH$.

Phase 3 : Calculer la masse volumique en grammes par centimètre cube et le carré de la masse volumique.

$RHO = RHO * 0,001$.

$RHOSQR = RHO * RHO = X,XXXXXX$, arrondi à 0,00001 près par

$RHOSQR = INT(RHOSQR * 100000,0 + 0,5) * 0,00001$.

Phase 4 : Calculer le facteur de compressibilité.

$F = EXP(-1,62080 + 0,00021592 * T + 0,87096 / RHOSQR + 0,0042092 * T / RHOSQR)$

en arrondissant chaque terme à 0,00001 près comme suit :

Si $T < 0$ alors $SIGN = -1,0$ sinon $SIGN = 1,0$.

$TERM1 = -1,62080$.

$TERM2 = INT(21,592 * T + 0,5 * SIGN) * 0,00001$.

$TERM3 = INT(87096,0 / RHOSQR + 0,5) * 0,00001$.

$TERM4 = INT(420,92 * T / RHOSQR + 0,5 * SIGN) * 0,00001$.

$F = EXP(TERM1 + TERM2 + TERM3 + TERM4) = X,XXXX$.

Puis arrondir F à 0,001 près par

$F = INT(F * 1000,0 + 0,5) * 0,001$

F est alors égal à la valeur de la table.

La fonction intrinsèque INT donne un entier en tronquant tous les chiffres à la droite de la virgule décimale. L'EXP intrinsèque exponentielle doit donner un résultat avec une précision de 0,0001.

11.2.1.6M RÉFÉRENCES

- Jacobson, E.W., Ambrosius, E.E., Dashiell, J.W., and Crawford, C.L., «Second Progress Report on Study of Existing Data on Compressibility of Liquid Hydrocarbons,» Report of the Central Committee on Pipe-Line Transportation, Vol. 2 (IV), p. 39-45, American Petroleum Institute, Washington, D.C., 1945.
- Jessup, R.S., «Compressibility and Thermal Expansion of Petroleum Oils in the Range 0° to 300 °C,» *Bureau of Standards Journal of Research*, Vol. 5, July to December 1930, p. 985-1039, National Bureau of Standards, Washington, D.C.
- Downer, L., and Gardiner, K.E.S., «Bulk Oil Measurement Compressibility Measurements on Crude Oils Deviations from API Standard 1101,» BP Research Centre Report No. 20 587/M (8 pages), October 28, 1970.
- Downer, L., «Bulk Oil Measurement Compressibility Data on Crude Oils and Petroleum Products Viewed as a Basis for Revised International Tables (API Standard 1101 Tables),» BP Research Centre Report No. 20 639 (21 pages), January 17, 1972.

TABLE DES FACTEURS DE
COMPRESSIBILITÉ DES HYDROCARBURES
DANS LA PLAGE 638-1074 KILOGRAMMES
PAR MÈTRE CUBE EN FONCTION DE LA
iTeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
MASSE VOLUMIQUE (15 °C) ET DE LA
ISO 9770:1989
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/132ed73a-a01a-4ddf-a282-461473e0231a/iso-9770-1989>
TEMPÉRATURE DE MESURAGE
(DEGRÉS CELSIUS)

NOTE — À titre d'exemple illustrant la présentation de cette table, une page a été reproduite, le titre étant le même pour les autres pages.