
**Transmissions pneumatiques —
Détermination des caractéristiques de
débit des composants —**

Partie 3:
**Méthode de calcul des caractéristiques
de débit stationnaire des assemblages**

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

*Pneumatic fluid power — Determination of flow-rate characteristics
of components using compressible fluids —*

*Part 3: Method for calculating steady-state flow-rate
characteristics of systems*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/siv/2a92ab25-7872-4be8-b2a4-16b0eeced640/iso-6358-3-2014>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 6358-3:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a92ab25-7872-4be8-b2a4-16b0eeced640/iso-6358-3-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a92ab25-7872-4be8-b2a4-16b0eeced640/iso-6358-3-2014>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2014

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
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

Version française parue en French Publication Year

Publié en Suisse

Contents

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et unités	1
5 Hypothèses de calcul	2
5.1 Généralités.....	2
5.2 Relations entre les caractéristiques de débit des composants.....	3
5.3 Caractéristiques de débit.....	3
6 Organisation des calculs pour des assemblages de composants raccordés en série	6
6.1 Généralités.....	6
6.2 Données.....	7
6.3 Principe de calcul.....	7
6.4 Calcul de la pression d'ouverture Δp_c (étape 1).....	7
6.5 Si certains composants sont des conduites, des tubes ou des flexibles caractérisés par un coefficient de frottement, calcul de la valeur initiale de leur conductance sonique (étape 2, facultative).....	7
6.6 Détermination de la conductance sonique C (étape 3).....	8
6.7 Détermination du rapport de pressions totales critique b et de l'indice subsonique m (étape 4).....	10
6.8 Calcul du coefficient de dépendance par rapport à la pression K_p (étape 5, facultative) ...	11
7 Organisation des calculs pour des assemblages de composants raccordés en parallèle	12
7.1 Généralités.....	12
7.2 Données.....	13
7.3 Principe de calcul.....	13
7.4 Détermination des caractéristiques d'écoulement des conduites, des tubes ou des flexibles pour la pression d'entrée donnée (étape 0).....	13
7.5 Détermination de la conductance sonique C (étape 1).....	13
7.6 Détermination de la pression d'ouverture Δp_c (étape 2).....	13
7.7 Détermination du rapport de pressions totales critique b et de l'indice subsonique m (étape 3).....	14
Annexe A (informative) Exemple de calculs pour des assemblages de composants raccordés en série	16
Annexe B (informative) Exemple de calcul pour un circuit de soufflage d'air dont les composants sont raccordés en parallèle	26
Annexe C (informative) Organigrammes des méthodes de calcul	32
Annexe D (informative) Informations complémentaires concernant les composants dont les caractéristiques de débit ne sont pas exprimées conformément à la série ISO 6358	41
Annexe E (informative) Visualisation des résultats de calcul	53
Bibliographie	59

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, 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 sur la liste ISO des déclarations de brevets reçues, www.iso.org/brevets.

Les éventuelles appellations commerciales utilisées dans le présent document sont données pour information à l'intention des utilisateurs et ne constituent pas une approbation ou une recommandation.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, aussi bien que pour des informations au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC) voir le lien suivant: [Foreword - Supplementary information](http://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a92ab25-7872-4be8-b2a4-16b2eccc649/iso-6358-3-2014).

L'ISO 6358-3 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 131, *Transmissions hydrauliques et pneumatiques*, sous-comité SC 5, *Appareils de régulation et de distribution et leurs composants*.

Cette première édition de l'ISO 6358-3, ainsi que les ISO 6358-1 et ISO 6358-2, annule et remplace l'ISO 6358:1989 qui fait l'objet d'une révision technique. Cependant, les parties 2 et 3 sont des nouvelles normes dont le domaine d'application n'était pas inclut dans l'ISO 6358:1989.

L'ISO 6358 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Transmissions pneumatiques — Détermination des caractéristiques de débit des composants*:

- *Partie 1: Règles générales et méthodes d'essai en régime stationnaire*
- *Partie 2: Méthodes d'essai alternatives*
- *Partie 3: Méthode de calcul des caractéristiques de débit stationnaire des assemblages*

Introduction

Dans les systèmes de transmission pneumatique, l'énergie est transmise et contrôlée par un gaz sous pression circulant dans un circuit. Les éléments constituant un tel circuit ont une résistance intrinsèque à l'écoulement du gaz et il est donc nécessaire de définir et de déterminer les caractéristiques décrivant leurs performances.

L'ISO 6358:1989 spécifiait une méthode pour déterminer les caractéristiques de débit des éléments de transmission pneumatiques, en se fondant sur un modèle de tuyères convergentes. La méthode incluait deux paramètres caractéristiques: la conductance sonique, C , et le rapport de pression critique, b , utilisés dans une proposition d'approximation mathématique du comportement de l'écoulement. Le résultat décrivait les performances d'écoulement d'un élément de transmission pneumatique d'un écoulement sonique à un écoulement subsonique, basé sur la pression statique. Cette nouvelle édition utilise la pression totale au lieu de prendre en compte l'influence de la vitesse d'écoulement lors du mesurage des pressions.

L'expérience a montré qu'un grand nombre d'éléments de transmission pneumatiques ont des caractéristiques convergentes-divergentes qui ne sont pas très bien représentés par le modèle de l'ISO 6358:1989. Une modification était nécessaire pour tenir compte de l'influence de la vitesse d'écoulement sur les mesures de pression. De plus, de nouvelles avancées ont permis d'appliquer cette méthode à d'autres composants que ceux des éléments de transmission pneumatiques. Toutefois, ceci nécessite d'utiliser désormais quatre paramètres (C , b , m , et Δp_c) pour définir les caractéristiques de débit dans les régions d'écoulement à la fois sonique et subsonique.

La présente partie de l'ISO 6358 utilise un ensemble de quatre paramètres caractéristiques de débit, déterminés à partir de résultats d'essais. Ces paramètres sont décrits comme suit et énumérés par ordre de priorité décroissante:

- La conductance sonique, C , correspondant au débit maximum (sonique) est le paramètre le plus important. Ce paramètre est défini par les conditions totales en amont;
- Le rapport de pressions totales critique, b , représentant la limite entre l'écoulement sonique et l'écoulement subsonique, est le deuxième paramètre le plus important. Sa définition diffère ici de celle de l'ISO 6358:1989 car elle correspond au rapport entre les pressions totales en aval et en amont;
- L'indice subsonique, m , est utilisé si nécessaire pour représenter le comportement de l'écoulement subsonique de manière plus précise. Pour les composants ayant une section d'écoulement fixe (c'est-à-dire une section qui ne varie pas selon la pression ou le débit), m est proche de 0,5. Dans ces cas, seuls les deux premiers paramètres caractéristiques C et b sont nécessaires. Pour un grand nombre d'autres composants, m varie sensiblement, auquel cas il est nécessaire de déterminer C , b et m .
- Le paramètre Δp_c , est la pression d'ouverture. Ce paramètre est utilisé uniquement pour les composants pneumatiques qui s'ouvrent avec l'augmentation de la pression amont, par exemple pour des clapets anti-retour (contrôle) ou des distributeurs de débit monodirectionnels.

Plusieurs modifications du dispositif d'essai ont été effectuées pour résoudre les violations apparentes de la théorie de l'écoulement des fluides compressibles. Parmi celles-ci se trouvent les tubes de mesure de pression d'alimentation dont le diamètre est plus grand pour satisfaire aux hypothèses de vitesse d'admission négligeable de l'élément soumis à essai et pour permettre de mesurer directement la pression totale d'alimentation. Les tubes de sortie de plus grand diamètre permettent la mesure directe de la pression totale en aval afin de mieux prendre en compte les différents modèles de composants. La différence entre les pressions totales en amont et en aval d'un composant se traduit par une perte d'énergie de pression.

Pour soumettre à essai un composant avec un grand alésage nominal ou pour réduire le temps d'essai ou la consommation d'énergie, il est souhaitable d'appliquer comme méthodes d'essai alternatives les méthodes spécifiées dans l'ISO 6358-2, qui couvrent un essai de décharge et un essai de charge.

La présente partie de l'ISO 6358 peut être utilisée pour calculer, sans effectuer de mesure, une estimation des caractéristiques de débit global d'un assemblage de composants et de tuyauteries. Dans la plupart des cas, les caractéristiques de débit des composants sont déterminées selon la partie 1 ou 2

de l'ISO 6358. Cependant, les caractéristiques de débit de certains composants sont exprimées par des coefficients de débit autres que ceux définis dans l'ISO 6358. Les formules permettant de calculer des caractéristiques de débit presque équivalentes sont données.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 6358-3:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a92ab25-7872-4be8-b2a4-16b0eeced640/iso-6358-3-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a92ab25-7872-4be8-b2a4-16b0eeced640/iso-6358-3-2014>

Transmissions pneumatiques — Détermination des caractéristiques de débit des composants —

Partie 3: Méthode de calcul des caractéristiques de débit stationnaire des assemblages

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 6358 définit une méthode qui utilise une technique numérique simple pour estimer, sans effectuer de mesure, les caractéristiques de débit global d'un assemblage de composants et de tuyauteries ayant des caractéristiques de débit connues.

Les équations utilisées dans les différentes parties de l'ISO 6358 décrivent le comportement de l'écoulement des fluides compressibles à travers un composant pour les écoulements subsoniques et les écoulements soniques.

NOTE La conductance d'un tube, d'un silencieux ou d'un filtre est influencée par la pression amont. Les valeurs C et b ne sont donc valables que pour la pression amont à laquelle elles sont déterminées.

La présente partie de l'ISO 6358 fournit également des méthodes permettant d'obtenir des caractéristiques de débit équivalentes pour les composants dont les caractéristiques de débit diffèrent de celles définies dans l'ISO 6358.

[ISO 6358-3:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a92ab25-7872-4be8-b2a4-16b0eeced640/iso-6358-3-2014)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a92ab25-7872-4be8-b2a4-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a92ab25-7872-4be8-b2a4-16b0eeced640/iso-6358-3-2014)

2 Références normatives [16b0eeced640/iso-6358-3-2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a92ab25-7872-4be8-b2a4-16b0eeced640/iso-6358-3-2014)

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 5598, *Transmissions hydrauliques et pneumatiques — Vocabulaire*

ISO 6358-1:2013, *Transmissions pneumatiques — Détermination des caractéristiques de débit des composants traversés par un fluide compressible — Partie 1: Règles générales et méthodes d'essai en régime stationnaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 5598 et l'ISO 6358-1 s'appliquent. Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 6358, le terme "composant" désigne également la tuyauterie.

4 Symboles et unités

4.1 Les symboles et unités utilisés dans la présente partie de l'ISO 6358 doivent être conformes à l'ISO 6358-1 et au [Tableau 1](#).

Tableau 1 — Symboles et unités

Symbole	Description	Unité SI
b_{pipe}	Rapport de pressions totales critique de la conduite, du tube ou du flexible	–
C_{pipe}	Conductance sonore de la conduite, du tube ou du flexible	m ³ /(s·Pa)(ANR)
d	Diamètre intérieur de la conduite, du tube ou du flexible	m
L	Longueur de la conduite, du tube ou du flexible	m
λ	Coefficient de frottement moyen d'une conduite, d'un tube ou d'un flexible, dépendant du nombre de Reynolds	–
p_{s2}	Pression statique en aval de la conduite, du tube ou du flexible	Pa
T	Température totale absolue	K
γ	Rapport des capacités thermiques massiques (pour l'air, il est égal à 1,4)	–
k	Coefficient de frottement de la conduite, du tube ou du flexible résultant d'essais expérimentaux	–
Re	Nombre de Reynolds de l'écoulement à l'intérieur de la conduite, du tube ou du flexible	–
μ	Viscosité dynamique	Pa·s
$p_{11}, p_{12}, p_{1i}, p_{1n}$	Pression amont à l'entrée de chaque composant (pression totale)	Pa
$p_{11}, p_{12}, p_{1i}, p_{1n}$	Pression aval à la sortie de chaque composant (pression totale)	Pa

NOTE Voir l'Annexe D pour les symboles supplémentaires utilisés dans ladite annexe.

4.2 Les indices utilisés dans la présente partie de l'ISO 6358 doivent être conformes à l'ISO 6358-1 et au Tableau 2.

ISO 6358-3:2014
 Tableau 2 — Indices utilisés dans la présente partie de l'ISO 6358

Indice	Description
i	Numéro du composant (distributeur, silencieux, etc.) ou de la tuyauterie (conduite, tube, flexible, connecteur, etc.), avec $i = 1$ au début de l'assemblage et n à la fin
pipe	Se rapporte à la pression statique en aval de la tuyauterie lorsqu'elle est exprimée en utilisant un coefficient de frottement dépendant du nombre de Reynolds
e	Se rapporte à l'entrée
f	Se rapporte au composant final
j	Indice du pas de calcul de l'assemblage

5 Hypothèses de calcul

5.1 Généralités

Les hypothèses suivantes sont posées pour les caractéristiques de débit de l'assemblage équivalent:

- l'écoulement est supposé être adiabatique, pour tenir compte du fait que les températures totales à l'entrée de chaque composant sont toutes identiques;
- pour les composants raccordés en série, la pression de sortie d'un composant est identique à la pression d'entrée du composant suivant;
- Pour les composants raccordés en parallèle, les pressions d'entrée, respectivement les pressions de sortie sont identiques pour tous les composants.

5.2 Relations entre les caractéristiques de débit des composants

5.2.1 Lorsque $b < \frac{p_2}{p_1} \leq 1 - \frac{\Delta p_c}{p_1}$

l'écoulement est subsonique, la relation entre le débit massique d'un composant et ses caractéristiques de débit est alors donnée par l'Équation (1):

$$q_m = C \rho_0 p_1 \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \left[1 - \left(\frac{\frac{p_2}{p_1} - b}{1 - \frac{\Delta p_c}{p_1} - b} \right)^2 \right]^m \quad (1)$$

5.2.2 Lorsque $\frac{p_2}{p_1} \leq b$

l'écoulement est sonique. La relation entre le débit massique d'un composant et ses caractéristiques de débit est alors donnée par l'Équation (2):

$$q_m^* = C \rho_0 p_1^* \sqrt{\frac{T_0}{T_1^*}} \quad (2)$$

5.2.3 Lorsque $1 - \frac{\Delta p_c}{p_1} < \frac{p_2}{p_1} \leq 1$

le débit massique est nul. La relation entre le débit massique d'un composant et ses caractéristiques de débit est donnée par l'Équation (3):

$$q_m = 0 \quad (3)$$

NOTE Les symboles utilisés dans les Équations (1), (2) et (3) sont issus de l'ISO 6358-1 et ne sont pas utilisés dans la suite de la présente partie de l'ISO 6358. Les équations sont données ici à titre de référence et ont une application spécifique plus loin dans la présente partie de l'ISO 6358.

5.3 Caractéristiques de débit

5.3.1 Généralités

Avant d'appliquer la méthode de calcul décrite à l'Article 6 pour les composants raccordés en série ou à l'Article 7 pour les composants raccordés en parallèle, il convient d'exprimer les caractéristiques de débit de tous les composants conformément à l'ISO 6358.

Si les caractéristiques de débit de certains composants sont exprimées par des méthodes autres que celles de l'ISO 6358, les valeurs de C , b , m et Δp_c peuvent être obtenues conformément au [paragraphe 5.3.2](#) ou [5.3.3](#) et à l'[Annexe D](#).

5.3.2 Caractéristiques de débit d'une tuyauterie définie par ses dimensions géométriques

5.3.2.1 Généralités

Les conduites, tubes et flexibles sont définis par leur longueur L et leur diamètre intérieur d . Lorsqu'ils sont inclus dans un assemblage, les formules basées sur la mécanique des fluides traditionnelle, données en [5.3.2.2](#), ou les formules basées sur les résultats d'essai, données en [5.3.2.3](#), doivent être utilisées. Les formules basées sur les résultats d'essai sont fondées sur des essais réalisés conformément à l'ISO 6358-1 à 500 kPa (5 bar). Une erreur maximale de ± 15 % peut être attendue en raison de la variation des

tolérances sur les diamètres intérieurs. Les détails des résultats d'essai sont décrits à l'Annexe D. De plus amples informations sur le développement des formules théoriques sont données au paragraphe D.2.3.

5.3.2.2 Formules utilisant le coefficient de frottement dépendant du nombre de Reynolds

5.3.2.2.1 En utilisant le coefficient de frottement traditionnel λ , qui dépend du nombre de Reynolds, les Équations (4) à (7) peuvent être utilisées pour calculer les paramètres caractéristiques de débit d'une conduite, d'un tube ou d'un flexible. Ces équations peuvent être appliquées pour tout gaz considéré comme un gaz parfait. Des informations complémentaires sur les aspects théoriques relatifs à ces équations sont données à l'Annexe D.

$$C_{\text{pipe}} = \frac{\pi}{4\rho_0\sqrt{RT_0}} \frac{d^2}{\sqrt{\left(1 + \frac{\lambda L}{d}\right) + \sqrt{\frac{2}{\gamma(\gamma+1)}} \sqrt{1 + \frac{\lambda L}{d} + \frac{1}{\gamma(\gamma+1)}}}} \tag{4}$$

$$b_{\text{pipe}} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma(\gamma+1)}{2}} \sqrt{1 + \frac{\lambda L}{d}}} + \frac{1}{\gamma(\gamma+1)\left(1 + \frac{\lambda L}{d}\right)}}} \tag{5}$$

$$m_{\text{pipe}} = 0,5 \tag{6}$$

$$\Delta p_{c\text{ pipe}} = 0 \tag{7}$$

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

NOTE Les paramètres calculés dans les Équations (4) à (7) ont l'indice «pipe» pour indiquer qu'ils se rapportent à la pression statique aval dans la conduite, le tube ou le flexible.

5.3.2.2.2 Dans les Équations (4) à (7), le coefficient de frottement moyen de Darcy λ dépend du nombre de Reynolds comme indiqué dans l'Équation (8); le nombre de Reynolds est déterminé à l'aide des Équations (9) et (10):

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \log_{10}(Re) - 1,64)^2} \tag{8}$$

NOTE L'Équation (8) est la formule de Filonenko qui est utilisée pour des tuyauteries circulaires lisses et un écoulement turbulent (donnée pour des nombres de Reynolds supérieurs à 4 000; voir la Référence [2] dans la Bibliographie). D'autres formules données dans la littérature peuvent également être utilisées pour l'expression du coefficient de frottement en fonction du nombre de Reynolds. Voir D.2.3.2 pour de plus amples informations.

5.3.2.2.3 Le nombre de Reynolds, Re , est le paramètre sans dimension permettant de corréliser le comportement visqueux des fluides newtoniens, comme indiqué dans l'Équation (9):

$$Re = \frac{4q_m}{\pi d \mu} \tag{9}$$

5.3.2.2.4 Le paramètre μ est la viscosité dynamique. La dépendance à la température du fluide peut être prise en compte, par exemple conformément à la loi Sutherland, exprimée par l'Équation (10) et qui est valable pour l'air:

$$\mu = \mu_r \left(\frac{T_e}{T_r} \right)^{3/2} \left(\frac{T_r + S}{T_e + S} \right) \quad (10)$$

où

μ_r est la viscosité dynamique pour la température de référence de Sutherland T_r , égale à $1,712 \times 10^{-5}$ Pa.s.

T_r est la température de référence de Sutherland, égale à 273 K.

S est la constante de Sutherland, égale à 110,4 K.

ce qui donne

$$\mu = 1,455 \times 10^{-6} \frac{T_e^{3/2}}{T_e + 110,4}$$

5.3.2.2.5 Dans le cas de l'air, (où $\gamma=1,4$), les Équations (11) et (12) remplacent respectivement les Équations (4) et (5):

$$C_{\text{pipe}} = \frac{2,28 \times 10^{-3} d^2}{\sqrt{\left(1 + \frac{\lambda L}{d}\right) + 0,77} \sqrt{1 + \frac{\lambda L}{d} + 0,3}} \quad (11)$$

$$b_{\text{pipe}} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{0,77}{\sqrt{1 + \frac{\lambda L}{d}}} + \frac{0,3}{1 + \frac{\lambda L}{d}}} \quad (12)$$

5.3.2.3 Caractéristiques de débit des tuyauteries, basées sur les résultats d'essai

NOTE Les Équations (13) à (18) donnent les caractéristiques de débit de la conduite ou du tube pour une pression d'entrée constante de 500 kPa (5 bar).

5.3.2.3.1 Les Équations (13) à (16) sont basées sur les résultats d'essais réalisés avec l'air conformément à l'ISO 6358-1, et elles peuvent être utilisées pour calculer les paramètres caractéristiques de débit d'une conduite ou d'un tube. Les résultats de mesure pour les tubes en polyuréthane sont donnés en Annexe G.4 de l'ISO 6358-1:2013. De plus amples informations sont données en [D.2.4](#).

$$C = \frac{\pi d^2}{2 \times 10^3 \sqrt{k \frac{L}{d} + 1}} \quad (13)$$

$$b = 4,8 \times 10^2 \frac{C}{d^2} \quad (14)$$

$$m = 0,58 - 0,1b \quad (15)$$

$$\Delta p_c = 0 \quad (16)$$

5.3.2.3.2 Le paramètre k est un coefficient de frottement dépendant du diamètre, déterminé à partir des résultats d'essai. Il dépend uniquement du diamètre intérieur de la conduite ou du tube et non des conditions d'écoulement.

a) Pour les tubes en résine, déterminer k à l'aide de l'Équation (17):

$$k = 2,35 \times 10^{-3} d^{-0,31} \tag{17}$$

b) Pour les tubes en acier, déterminer k à l'aide de l'Équation (18):

$$k = 3,61 \times 10^{-3} d^{-0,31} \tag{18}$$

5.3.2.3.3 Pour d'autres pressions d'entrée, calculer les caractéristiques de débit correspondantes en utilisant le coefficient de dépendance de la conductance sonique par rapport à la pression K_p égal à 2×10^{-7} [-/Pa], conformément à l'ISO 6358-1.

5.3.3 Composants dont les caractéristiques de débit sont exprimées par des paramètres de débit utilisés historiquement ou par une longueur équivalente de tube droit

Lorsque les caractéristiques de débit d'un composant sont exprimées par des paramètres d'écoulement utilisés historiquement, par exemple, le débit nominal q_N , C_v or K_v , ou en termes de longueur équivalente d'une conduite ou d'un tube droit, une évaluation approximative des caractéristiques de débit compressible peut être obtenue en appliquant les lignes directrices données à l'Annexe D.

6 Organisation des calculs pour des assemblages de composants raccordés en série

6.1 Généralités

iTeh STANDARD PREVIEW

Considérons un assemblage de composants raccordés en série comme illustré à la Figure 1. Le même débit massique q_m de fluide circule dans tous les composants lorsque l'assemblage est en écoulement stationnaire.

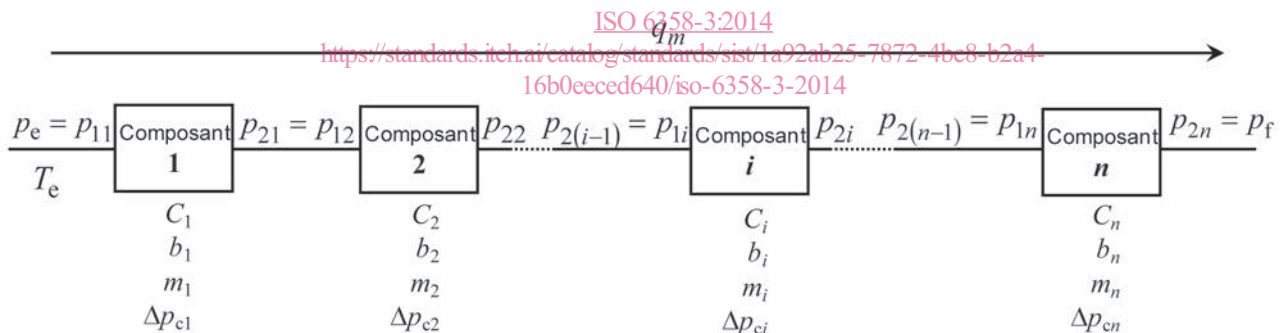


Figure 1 — Assemblage de composants raccordés en série

Le but de la méthode spécifiée dans le présent article est d'obtenir un seul ensemble de caractéristiques de débit pour l'assemblage, déterminé à partir des caractéristiques de débit des composants et de la tuyauterie, comme illustré à la Figure 2.

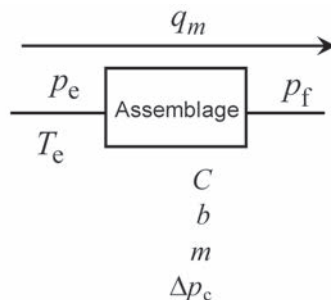


Figure 2 — Assemblage équivalent

6.2 Données

Pour le calcul des caractéristiques de débit d'un assemblage de composants raccordés en série, les paramètres suivants doivent être donnés:

- la pression d'entrée (p_e) de l'assemblage, qui est la pression amont du premier composant (p_{11}),
- la température totale du fluide, T_e , à l'entrée de l'assemblage. Pour le calcul, l'écoulement est supposé être adiabatique; la température totale est donc supposée être la même partout dans l'assemblage.

6.3 Principe de calcul

Considérons l'assemblage de composants raccordés en série comme illustré à la [Figure 1](#). Les caractéristiques de débit sont déterminées à partir d'une séquence de cinq étapes principales de calcul, tel que décrit dans les paragraphes suivants et à l'[Annexe C, Figure C.1](#).

Étant donné que la pression d'ouverture peut être déterminée indépendamment des autres caractéristiques, son calcul est effectué à la première étape:

- a) étape 1 - calcul de la pression d'ouverture Δp_c ;
- b) étape 2 - si certains composants sont des conduites, des tubes ou des flexibles, caractérisés par un coefficient de frottement, calcul d'une valeur initiale de leur conductance sonique;
- c) étape 3 - détermination de la conductance sonique C ;
- d) étape 4 - détermination du rapport de pressions totales critique b et de l'indice subsonique m , et
- e) étape 5 - calcul du coefficient de dépendance de la conductance sonique par rapport à la pression K_p , si l'assemblage comporte des composants ayant une dépendance par rapport à la pression

Les étapes 2 et 5 sont facultatives, selon le type des composants de l'assemblage.

Les étapes 3 et 4 requièrent le même principe de calcul, qui consiste à déterminer la pression de sortie des composants raccordés en série p_f pour des débits massiques subsoniques q_m donnés. Pour un débit massique q_m et une pression d'entrée fixe p_e donnés, le calcul consiste à déterminer la pression de sortie de chaque composant, p_{2i} , en commençant par le premier composant et en poursuivant ainsi jusqu'au dernier.

6.4 Calcul de la pression d'ouverture Δp_c (étape 1)

La pression d'ouverture de l'assemblage est égale à la somme totale des valeurs de pression d'ouverture Δp_{ci} de chaque composant, comme indiqué dans l'Équation (19):

$$\Delta p_c = \sum \Delta p_{ci} \quad (19)$$

6.5 Si certains composants sont des conduites, des tubes ou des flexibles caractérisés par un coefficient de frottement, calcul de la valeur initiale de leur conductance sonique (étape 2, facultative)

Si certains composants sont des conduites, des tubes ou des flexibles, caractérisés par un coefficient de frottement, calculer, pour chacun d'entre eux, une valeur initiale pour leur conductance sonique C^{init} :

$$C^{\text{init}} = \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{\rho_0 \sqrt{RT_0}} \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}} \quad (20)$$

NOTE Cette équation donne la valeur maximale de la conductance sonique que la tuyauterie peut atteindre si sa longueur est réduite à son minimum. Elle correspond à la conductance sonique d'une tuyère convergente idéale de même diamètre. La valeur calculée peut donc conduire à surestimer la valeur réelle de la tuyauterie en question, mais elle fournit une première valeur permettant de commencer les calculs.

6.6 Détermination de la conductance sonique C (étape 3)

6.6.1 Principe de calcul

La conductance sonique de l'assemblage est inférieure à la conductance sonique individuelle de ses composants. Pour calculer la conductance sonique C de l'assemblage, il est nécessaire de déterminer le débit sonique q_m^* correspondant à la pression d'entrée p_e .

Ce débit massique sonique ne peut pas être calculé explicitement, mais il correspond au débit massique subsonique maximal pouvant être atteint par l'assemblage. Il est déterminé par itérations successives, en prenant différentes valeurs de débit massique q_m inférieures au débit massique maximal théorique $(q_m)_{MAX}$. Le débit massique maximal théorique circulant dans l'assemblage $(q_m)_{MAX}$ est donné par le composant le plus restrictif.

Le débit massique sonique q_m^* est le débit massique subsonique maximal pour lequel la pression aval finale p_f en aval du dernier composant de l'assemblage peut être calculée. Voir la [Figure C.4](#) à l'[Annexe C](#).

6.6.2 Calcul du débit massique maximal théorique $(q_m)_{MAX}$

Premièrement, déterminer la plus faible valeur de conductance sonique C parmi tous les composants de l'assemblage, C_{MIN} à l'aide de l'Équation (21), et calculer $(q_m)_{MAX}$ à l'aide de l'Équation (22).

$$C_{MIN} = \min(C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n) \quad (21)$$

$$(q_m)_{MAX} = C_{MIN} \rho_0 p_e \sqrt{\frac{T_0}{T_e}} \quad (22)$$

6.6.3 Détermination du débit massique sonique q_m^*

Le débit massique subsonique maximal est déterminé par itérations successives, en prenant différentes valeurs de débit massique q_m inférieures ou égales ($\eta \leq 1$) au débit massique maximal théorique, comme indiqué dans l'Équation (23):

$$q_m = \eta (q_m)_{MAX} \quad (23)$$

6.6.3.1 Tout d'abord, considérer $\eta = 1$

6.6.3.2 La pression amont du premier composant est la pression d'entrée de l'assemblage, telle qu'exprimée par l'Équation (24):

$$p_{11} = p_e \quad (24)$$

6.6.3.3 Pour le débit massique q_m donné et calculé à l'aide de l'Équation (23), calculer la pression de sortie de chaque composant, p_{2i} , en commençant par le premier composant et en poursuivant ainsi jusqu'au dernier en appliquant la procédure décrite dans les alinéas suivants.

6.6.3.3.1 La pression amont d'un composant ou d'une tuyauterie est la pression calculée en aval du composant précédent, comme indiqué dans l'Équation (25):

$$p_{1i} = p_{2(i-1)} \text{ pour } i > 1 \quad (25)$$

6.6.3.3.2 La pression aval p_{2i} du composant i ne peut être calculée à l'aide de l'Équation (27) que dans des conditions subsoniques, c'est-à-dire uniquement lorsque le débit massique donné, q_m , est inférieur au débit sonique du composant i , selon l'Équation (26).

$$q_m < C_i \rho_0 p_{1i} \sqrt{\frac{T_0}{T_e}} \quad (26)$$

Si cette condition n'est pas remplie, un nombre négatif apparaît sous la racine carrée de l'Équation (27).

6.6.3.3.2.1 Si l'Équation (26) est satisfaite, calculer la pression aval p_{2i} du composant i à partir du débit massique q_m et de sa pression amont p_{1i} , à l'aide de l'Équation (27). Voir la [Figure C.6](#) à l'[Annexe C](#).

$$p_{2i} = p_{1i} \left[b_i + \left(1 - \frac{\Delta p_{ci}}{p_{1i}} - b_i \right) \sqrt{1 - \left(\frac{q_m}{C_i \rho_0 p_{1i}} \sqrt{\frac{T_e}{T_0}} \right)^{m_i}} \right] \quad (27)$$

Si le composant i est une conduite ou un tube caractérisé par un coefficient de frottement, calculer en premier lieu:

- la viscosité dynamique pour la température T_e , à l'aide de l'Équation (10);
- le nombre Reynolds Re , à l'aide de l'Équation (9);
- le coefficient de frottement, à l'aide de l'Équation (8);
- les paramètres caractéristiques de débit à l'aide des Équations (4) à (7) ou (11), (12), (6) et (7) dans le cas de l'air. Voir la [Figure C.5](#) à l'[Annexe C](#).

Si le composant i est une conduite ou un tube caractérisé par un coefficient de frottement, l'Équation (27) ne donne que la pression statique aval de la tuyauterie, p_{s2i} . Dans ce cas, calculer la pression totale aval p_{2i} à l'aide de l'Équation (28), qui est issue de l'Équation (A.1) de l'ISO 6358-1:2013:

$$p_{2i} = p_{s2i} \left(\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{\gamma - 1}{2\gamma} RT_e \left(\frac{q_m}{\pi d^2 p_{s2i}} \right)^2} \right) \quad (28)$$

6.6.3.3.2.2 S'il y a un composant pour lequel l'Équation (26) n'est pas satisfaite, la pression totale à la sortie du dernier composant p_{2n} , ne peut être calculée car le débit déterminé par l'Équation (23) est trop élevé, et un nombre négatif apparaît sous la racine carrée de l'Équation (27). Dans ce cas, réduire la valeur de η par itérations de pas 0,0001, et refaire les calculs décrits en [6.6.3.3](#) jusqu'à ce qu'une valeur puisse être obtenue pour la pression totale à la sortie de l'assemblage.

6.6.3.3.3 Arrêter l'itération pour la première valeur de η (la plus grande valeur de η) pour laquelle la pression totale à la sortie du dernier composant, p_{2n} , peut être calculée. La valeur est la pression finale des composants raccordés en série, tel qu'exprimée par l'Équation (29):

$$p_f = p_{2n} \quad (29)$$

Le débit massique calculé grâce à l'Équation (23) pour cette dernière valeur de η , est le débit subsonique maximal pouvant être atteint, et il doit être considéré comme le débit massique sonique q_m^* . Il est également possible d'utiliser toute autre méthode numérique (dichotomie, technique d'oscillation,...) pour déterminer (à 4 décimales près) la plus grande valeur de η qui donne une valeur de pression totale à la sortie de l'assemblage. Voir [A.2.5](#) pour un exemple.

NOTE 1 Un exemple de feuille de calcul est donné en [A.2](#).