

---

---

**Poudres métalliques — Détermination  
de la surface spécifique d'enveloppe à  
partir de mesures de la perméabilité  
à l'air d'un lit de poudre dans des  
conditions d'écoulement permanent**

*Metallic powders — Determination of envelope-specific surface area  
from measurements of the permeability to air of a powder bed under  
steady-state flow conditions*

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 10070:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c301abf6-dc02-418d-885d-07ca4432118f/iso-10070-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c301abf6-dc02-418d-885d-07ca4432118f/iso-10070-2019>



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

ISO 10070:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c301abf6-dc02-418d-885d-07ca4432118f/iso-10070-2019>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2019

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée 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 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
Fax: +41 22 749 09 47  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>v</b>
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b> <b>Symboles</b> .....	<b>3</b>
<b>5</b> <b>Principes généraux</b> .....	<b>4</b>
5.1    Perméabilité.....	4
5.2    Équations de Carman-Arnell et Kozeny-Carman.....	4
5.3    Généralités.....	5
5.4    Masse volumique de l'enveloppe.....	6
<b>6</b> <b>Mode opératoire</b> .....	<b>6</b>
6.1    Préparation de la prise d'essai.....	6
6.2    Préparation du lit de poudre tassé.....	6
6.3    Détermination.....	7
<b>7</b> <b>Expression des résultats</b> .....	<b>7</b>
<b>8</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>7</b>
<b>Annexe A</b> (informative) <b>Exemples de méthodes de détermination de la perméabilité à l'air d'un lit de poudre</b> .....	<b>8</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Traitements préliminaires de désagglomération de la poudre</b> .....	<b>18</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>19</b>

ISO 10070:2019  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c301abf6-dc02-418d-885d-07ca4432118f/iso-10070-2019>

## 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 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 modes opératoires utilisés 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 de l'ensemble des critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données à titre d'informations pour faciliter la tâche de l'utilisateur et ne sauraient en aucun cas constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/avant-propos](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 119, *Métallurgie des poudres*, Sous-comité SC 2, *Échantillonnage et méthodes d'essais des poudres (y compris les poudres pour métaux durs)*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 10070:1991) qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- introduction d'un appareil d'essai automatique reposant sur la méthode Gooden et Smith, mode opératoire et étalonnage compris.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

La mesure de la perméabilité d'un lit de poudre tassé à un courant de gaz laminaire constitue la base du présent document. La détermination peut se faire à perte de charge constante (écoulement permanent) ou à perte de charge variable (volume constant). Le présent document ne traite que des déterminations effectuées dans des conditions d'écoulement permanent.

La perméabilité mesurée dépend de la porosité du lit de poudre. Pour une forme donnée de particule, on peut se servir des valeurs de perméabilité et de porosité pour calculer, à l'aide d'équations de différents types, la surface spécifique de la poudre.

L'aire ainsi calculée n'englobe que les parois des pores du lit de poudre balayés par le courant gazeux. Elle ne tient pas compte des pores fermés ou borgnes. Elle se définit comme la surface spécifique d'enveloppe. Elle peut être très différente de la surface totale mesurée des particules, par exemple, par les méthodes d'adsorption de gaz.

Les méthodes normalisées décrites dans le présent document ne se fondent que sur une seule équation, et fixent certaines limites quant au type de poudre (forme des particules) et à la porosité du lit auquel elles se rapportent. Ce ne sont donc pas des méthodes absolues, et le résultat qu'elles donnent dépend du mode opératoire et des hypothèses retenues.

Une fois déterminée, la surface spécifique peut être convertie en diamètre sphérique moyen équivalent (voir [Article 3](#)).

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

[ISO 10070:2019](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c301abf6-dc02-418d-885d-07ca4432118f/iso-10070-2019>

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

ISO 10070:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c301abf6-dc02-418d-885d-07ca4432118f/iso-10070-2019>

# Poudres métalliques — Détermination de la surface spécifique d'enveloppe à partir de mesures de la perméabilité à l'air d'un lit de poudre dans des conditions d'écoulement permanent

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifié une méthode de mesure de la perméabilité à l'air et de la porosité d'un lit de poudre métallique tassé, et permettant de déduire une valeur de la surface spécifique d'enveloppe. La perméabilité est déterminée dans des conditions d'écoulement permanent, à l'aide d'un débit d'air laminaire à une pression voisine de la pression atmosphérique. Le présent document ne traite pas de la mesure de la perméabilité à volume constant.

Plusieurs méthodes sont proposées pour remplir l'objectif fixé. De nombreux appareils d'essai, disponibles dans le commerce, permettent de mener à bien la détermination. Ces appareils d'essai donnent des résultats similaires et reproductibles dans la mesure où les instructions générales données dans le présent document sont respectées et où les paramètres d'essai identiques.

Il n'est pas possible, dans le présent document, de se limiter à un appareil d'essai du commerce particulier et au mode opératoire d'essai correspondant. En vue d'aider néanmoins l'utilisateur, une annexe est prévue (voir [Annexe A](#)) pour donner des renseignements pratiques sur trois méthodes spécifiques:

- la méthode Lea et Nurse, impliquant un appareil d'essai conçu en laboratoire (voir [A.1](#));
- la méthode Zhang Ruifu, utilisant un appareil d'essai similaire (voir [A.2](#));
- la méthode Gooden et Smith impliquant un appareil d'essai qui peut être conçu en laboratoire, mais correspond aussi à un modèle du commerce. (Deux types d'appareil d'essai du commerce existent; l'un d'eux n'est plus disponible à l'achat, mais est toujours utilisé, voir [A.3](#)).

Ces méthodes sont données uniquement à titre d'exemple, mais n'excluent pas l'emploi d'autres matériels commercialisés dans certains pays et conformes au présent document.

La méthode d'essai est applicable à toutes les poudres métalliques, y compris les poudres de métaux durs, jusqu'à 1 000 µm de diamètre, mais est généralement réservée aux particules de diamètre comprises entre 0,2 et 75 µm. Elle n'est pas destinée à être utilisée pour les poudres composées de particules dont la forme s'écarte trop de l'équiaxialité, par exemple du type flocons ou fibres. Dans ce cas, il est admis de ne l'utiliser qu'avec le consentement de toutes les parties concernées.

La méthode d'essai n'est pas utilisable pour les mélanges de poudres métalliques différentes ou de poudres renfermant des liants ou lubrifiants.

Lorsque la poudre contient des agglomérats, la surface mesurée peut être affectée par le degré d'agglomération. Si la poudre est soumise à un traitement de désagglomération (voir [Annexe B](#)), la méthode utilisée doit être subordonnée à l'accord des parties concernées.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

### 3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

— ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

#### 3.1

##### masse volumique de l'enveloppe

quotient de la masse d'un lit de poudre par son *volume de l'enveloppe* (3.3)

Note 1 à l'article: La masse volumique de l'enveloppe peut être inférieure à la masse volumique du solide si les particules renferment des pores qui ne contribuent pas au passage du gaz à travers le lit de poudre.

#### 3.2

##### surface spécifique de l'enveloppe

aire de la surface spécifique d'une poudre déterminée par perméamétrie gazeuse

#### 3.3

##### volume de l'enveloppe

volume occupé par les particules dans un lit de poudre, sans tenir compte du volume des *interstices* (3.5)

Note 1 à l'article: En perméamétrie, le volume de l'enveloppe comprend le volume des matières solides augmenté du volume de tous les pores qui ne contribuent pas à la circulation du gaz (pores fermés, pores borgnes, micropores, micropores ou rugosités superficiel(le)s, etc.). Ce volume ne pouvant être mesuré par aucune technique connue, il est considéré, dans le présent document, égal au volume utile déterminé par pycnométrie liquide.

#### 3.4

##### diamètre de sphère équivalent

diamètre de particules théoriques sphériques identiques, non poreuses, qui, mesurées par la même méthode de perméamétrie, présenteraient la même *surface spécifique volumique* que la poudre étudiée (3.9)

#### 3.5

##### interstices

espaces entre les particules d'un lit de poudre, à travers lesquels circule l'air

#### 3.6

##### aire massique (surface spécifique)

quotient de l'aire d'une poudre par sa masse

Note 1 à l'article: Cette aire dépend du type de méthode utilisée pour la déterminer.

#### 3.7

##### perméabilité

capacité d'un matériau poreux à être traversé par un fluide

Note 1 à l'article: à l'article Dans le présent document, le fluide utilisé est de l'air sec.

#### 3.8

##### porosité perméable

quotient du volume des *interstices* (3.5) au volume du lit de poudre

## 3.9

**surface spécifique volumique**

rapport de l'aire de la surface spécifique d'une poudre à son volume utile (c'est-à-dire, à son volume d'enveloppe)

## 4 Symboles

Tableau 1 — Symboles utilisés dans le texte

Symbole	Désignation	Unité	Observations
	<b>Lit de poudre</b>		
$A$	Aire de la section transversale	$m^2$	Aire de la section transversale totale du lit de poudre, perpendiculairement au sens d'écoulement: $A = \frac{\pi d^2}{4}$
$d$	Diamètre de la cellule de mesure	$m$	
$L$	Épaisseur (ou hauteur)	$m$	
$m$	Masse de la poudre	$kg$	
$\rho_e$	Masse volumique de l'enveloppe	$kg/m^3$	
$\rho$	Masse volumique du solide	$kg/m^3$	
$\varepsilon_p$	Porosité perméable		$\varepsilon_p = 1 - \frac{m}{AL\rho_e}$
$\varepsilon$	Porosité totale		$\varepsilon = 1 - \frac{m}{AL\rho}$
	<b>Débit gazeux</b>		
$q$	Débit volumique	$m^3/s$	Exprimé dans les conditions normales (STP - 0 °C, 1 atm)
$p$	Pression moyenne du gaz	$N/m^2$	
$\Delta p$	Perte de charge	$N/m^2$	
$\eta$	Viscosité du gaz	$Ns/m^2$	
$T$	Température du gaz	$K$	
$M$	Masse molaire du gaz	$kg/mol$	$M = 0,029 \text{ kg/mol}$ pour l'air
$R$	Constante molaire du gaz	$\frac{J}{mol K}$	$R = 8,31 \frac{J}{mol K}$

Tableau 1 (suite)

Symbole	Désignation	Unité	Observations
	<b>Calcul</b>		
$K$	Coefficient de Kozeny-Carman		Dans le présent document, $K = 5,0$
$\delta K_0$	Constante du composé		Dans le présent document, on utilise la valeur généralement acceptée de 2,25
$S_w$	Surface spécifique de l'enveloppe massique	$m^2/kg$	
$S_K$	Constante de Kozeny	$m^{-1}$	<a href="#">Formule (3)</a>
$S_m$	Constante d'écoulement moléculaire	$m^{-1}$	<a href="#">Formule (4)</a>
$S_V$	Surface spécifique volumique	$m^{-1}$	$S_V = \rho_e S_w$
$\Phi$	Perméabilité	$m^2$	
$D$	Diamètre de sphère équivalent	$m$	$D = \frac{6}{S_V} = \frac{6}{\rho_e S_w}$

## 5 Principes généraux

### 5.1 Perméabilité

En général, la perméamétrie permet de déterminer, de façon expérimentale, la perméabilité  $\Phi$  d'un lit de poudre dont on connaît la porosité.

La perméabilité s'obtient en mesurant le débit volumique,  $q_v$ , et la perte de charge,  $\Delta p$ , d'un écoulement laminaire de gaz sec (en général de l'air) traversant le lit en continu.

La perméabilité est ensuite calculée à partir de la loi de Darcy, comme indiqué dans la [Formule \(1\)](#):

$$\Phi = \frac{q \eta L}{A \Delta p} \tag{1}$$

### 5.2 Équations de Carman-Arnell et Kozeny-Carman

L'équation de Carman-Arnell, comme indiqué dans la [Formule \(2\)](#), relie la surface spécifique massique à la porosité et à la perméabilité d'un lit de poudre tassé et tient compte à la fois de la viscosité en régimes d'écoulement visqueux et moléculaire. Cette équation peut s'écrire:

$$\Phi = \frac{\varepsilon_p}{K \eta} \left[ \frac{\varepsilon_p^2}{S_V^2 (1 - \varepsilon_p)^2} + \frac{8}{3} \sqrt{\frac{2RT}{\pi M}} \times \frac{\delta K_0 \eta \varepsilon_p}{\rho S_V (1 - \varepsilon_p)} \right] \tag{2}$$

La solution de la [Formule \(2\)](#), qui implique qu'une équation quadratique en  $S_V$ , peut être simplifiée par l'évaluation séparée de deux termes: la constante de Kozeny  $S_K$  et l'écoulement moléculaire  $S_m$ , suivie d'une combinaison de ceux-ci pour obtenir  $S_V$ .

La constante de Kozeny,  $S_K$  est donnée par la [Formule \(3\)](#):

$$S_K = \sqrt{\frac{A \Delta p \varepsilon_p^3}{K (1 - \varepsilon_p)^2 L \eta q}} \tag{3}$$

Ce terme est identique à l'équation donnée par Kozeny-Carman pour  $S_V$  et quantifie l'influence d'un écoulement en ligne sur l'aire de la poudre.

La constante d'écoulement moléculaire,  $S_m$ , est donnée par la [Formule \(4\)](#):

$$S_m = \frac{A \Delta p}{KLq} \times \frac{8}{3} \sqrt{\frac{2RT}{\pi M}} \times \frac{\delta K_0 \varepsilon_p^2}{p(1-\varepsilon_p)} \quad (4)$$

ou, pour l'air, par la [Formule \(5\)](#):

$$S_m = 81 \times S_K^2 \frac{(1-\varepsilon_p)\eta}{p \varepsilon_p} \sqrt{T} \quad (5)$$

$S_V$  est donnée par la [Formule \(6\)](#):

$$S_V = \frac{S_m}{2} + \sqrt{\frac{S_m^2}{4} + S_K^2} \quad (6)$$

et la surface spécifique massique  $S_w$  par la [Formule \(7\)](#):

$$S_w = \frac{S_V}{\rho_e} \quad (7)$$

Le diamètre de sphère équivalent,  $D$ , est donné par la [Formule \(8\)](#):

$$D = \frac{6}{S_V} = \frac{6}{\rho_e S_w} \quad (8)$$

L'équation de Carman-Arnell, [Formule \(2\)](#), doit être utilisée lorsque la surface spécifique volumique est supérieure à  $10^6 \text{ m}^{-1}$  (taille moyenne de particule inférieure à  $6 \mu\text{m}$ ), car l'effet de l'écoulement moléculaire de la perméabilité devient significatif à côté de l'effet de l'écoulement visqueux.

Pour les poudres plus grossières, on peut, sous réserve d'accord entre les parties concernées, utiliser l'équation de Kozeny-Carman, [Formule \(3\)](#); l'erreur commise si l'on néglige l'effet de l'écoulement moléculaire est d'environ 10 % à une taille moyenne de particule de  $6 \mu\text{m}$  et augmente au fur et à mesure que la poudre devient plus fine.

La surface spécifique massique,  $S_w$ , est donnée par la [Formule \(9\)](#):

$$S_w = \sqrt{\frac{\varepsilon_p^3 A \Delta p}{K(1-\varepsilon_p)^2 \eta L \rho_e^2}} \quad (9)$$

### 5.3 Généralités

Les méthodes et les appareils d'essai utilisés dans la pratique diffèrent selon le principe de mesure du débit volumique du gaz et de la perte de charge. L'[Annexe A](#) décrit, à titre d'exemple, trois méthodes. L'équation de Kozeny-Carman s'applique de façon optimale aux poudres équiaxiales et seulement sur une plage restreinte de porosités du lit, fonction du type de poudre considéré. Elle s'applique de façon optimale aux poudres équiaxiales. Le coefficient de Kozeny  $K$  varie avec la forme des particules et leur répartition granulométrique. Dans le présent document, la valeur retenue pour  $K$  est 5,0, mais d'autres valeurs peuvent être utilisées par accord entre les parties concernées.

Compte tenu des restrictions de l'équation de Kozeny-Carman, il faut en premier lieu déterminer expérimentalement la variation de la surface spécifique en fonction de la porosité pour le type particulier de poudre à mesurer.