

# PROJET DE NORME INTERNATIONALE

## ISO/DIS 148-2

ISO/TC 164/SC 4

Secrétariat: ANSI

Début de vote:  
2015-08-06

Vote clos le:  
2015-11-06

---

---

## Matériaux métalliques — Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy —

### Partie 2: Vérification des machines d'essai (mouton-pendule)

*Metallic materials — Charpy pendulum impact test —*

*Part 2: Verification of testing machines*

ICS: 77.040.10

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)  
Full standard:  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d98e5258-2425-4ea5-bde5-bc2b3458fa46/iso-148-2-2016>

CE DOCUMENT EST UN PROJET DIFFUSÉ POUR OBSERVER ET APPROBATION. IL EST DONC SUSCEPTIBLE DE MODIFICATION ET NE PEUT ÊTRE CITÉ COMME NORME INTERNATIONALE AVANT SA PUBLICATION EN TANT QUE TELLE.

OUTRE LE FAIT D'ÊTRE EXAMINÉS POUR ÉTABLIR S'ILS SONT ACCEPTABLES À DES FINS INDUSTRIELLES, TECHNOLOGIQUES ET COMMERCIALES, AINSI QUE DU POINT DE VUE DES UTILISATEURS, LES PROJETS DE NORMES INTERNATIONALES DOIVENT PARFOIS ÊTRE CONSIDÉRÉS DU POINT DE VUE DE LEUR POSSIBILITÉ DE DEVENIR DES NORMES POUVANT SERVIR DE RÉFÉRENCE DANS LA RÉGLEMENTATION NATIONALE.

LES DESTINATAIRES DU PRÉSENT PROJET SONT INVITÉS À PRÉSENTER, AVEC LEURS OBSERVATIONS, NOTIFICATION DES DROITS DE PROPRIÉTÉ DONT ILS AURAIENT ÉVENTUELLEMENT CONNAISSANCE ET À FOURNIR UNE DOCUMENTATION EXPLICATIVE.

### TRAITEMENT PARRALLÈLE ISO/CEN

Le présent projet a été élaboré dans le cadre de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et soumis selon le mode de collaboration **sous la direction de l'ISO**, tel que défini dans l'Accord de Vienne.

Le projet est par conséquent soumis en parallèle aux comités membres de l'ISO et aux comités membres du CEN pour enquête de cinq mois.

En cas d'acceptation de ce projet, un projet final, établi sur la base des observations reçues, sera soumis en parallèle à un vote d'approbation de deux mois au sein de l'ISO et à un vote formel au sein du CEN.

Pour accélérer la distribution, le présent document est distribué tel qu'il est parvenu du secrétariat du comité. Le travail de rédaction et de composition de texte sera effectué au Secrétariat central de l'ISO au stade de publication.



Numéro de référence  
ISO/DIS 148-2:2015(F)

© ISO 2015

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)  
Full standard:  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d98e5258-2425-4ea5-bde5-bc2b3458fd46/iso-148-2-2016>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2015

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](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	v
Introduction.....	vi
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>2</b>
<b>3.1</b> <b>Définitions relatives à la machine</b> .....	<b>2</b>
<b>3.2</b> <b>Définitions relatives à l'énergie</b> .....	<b>3</b>
<b>3.3</b> <b>Définitions relatives aux éprouvettes</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b> <b>Symboles et abréviations</b> .....	<b>4</b>
<b>5</b> <b>Machine d'essai</b> .....	<b>7</b>
<b>6</b> <b>Vérification directe</b> .....	<b>7</b>
<b>6.1</b> <b>Généralités</b> .....	<b>7</b>
<b>6.2</b> <b>Fondations/installation</b> .....	<b>7</b>
<b>6.3</b> <b>Bâti de la machine</b> .....	<b>7</b>
<b>6.4</b> <b>Pendule</b> .....	<b>8</b>
<b>6.5</b> <b>Appuis et supports</b> .....	<b>12</b>
<b>6.6</b> <b>Dispositif indicateur</b> .....	<b>13</b>
<b>7</b> <b>Vérification indirecte par utilisation d'éprouvettes de référence</b> .....	<b>13</b>
<b>7.1</b> <b>Éprouvettes de référence utilisées</b> .....	<b>13</b>
<b>7.2</b> <b>Niveaux d'énergie absorbée</b> .....	<b>13</b>
<b>7.3</b> <b>Exigences pour les éprouvettes de référence</b> .....	<b>14</b>
<b>7.4</b> <b>Vérification directe réduite</b> .....	<b>14</b>
<b>7.5</b> <b>Erreur et répétabilité</b> .....	<b>14</b>
<b>8</b> <b>Fréquence des vérifications</b> .....	<b>15</b>
<b>8.1</b> Une vérification directe complète suivie d'une vérification indirecte doit être réalisée lors de l'installation de la machine ou après son déplacement. ....	<b>15</b>
<b>8.2</b> Des vérifications indirectes incluant une vérification directe limitée doivent être réalisées à des intervalles ne dépassant pas 12 mois. Des vérifications indirectes plus fréquentes peuvent être nécessaires en fonction de l'usure observée. ....	<b>15</b>
<b>8.3</b> Lorsque les appuis et/ou les couteaux sont remplacés, une vérification directe conformément aux Articles décrivant la(es) partie(s) concernée(s), doit être réalisée. Une vérification indirecte doit être également réalisée. ....	<b>15</b>
<b>8.4</b> Une vérification directe complète doit être réalisée lorsque les résultats d'une vérification indirecte ne sont pas satisfaisant. ....	<b>15</b>
<b>9</b> <b>Rapport de vérification</b> .....	<b>15</b>
<b>9.1</b> <b>Généralités</b> .....	<b>15</b>
<b>9.2</b> <b>Vérification directe</b> .....	<b>16</b>
<b>9.3</b> <b>Vérification indirecte</b> .....	<b>16</b>
<b>10</b> <b>Incertitude</b> .....	<b>16</b>
<b>Annexe A</b> (informative) <b>Incertitude de mesure du résultat de la vérification indirecte d'une machine d'essai par choc sur éprouvette Charpy (mouton-pendule)</b> .....	<b>3</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Incertitude de mesure des résultats de la vérification directe d'une machine d'essai par choc sur éprouvette Charpy (mouton-pendule)</b> .....	<b>7</b>
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Méthode directe de vérification des caractéristiques géométriques des moutons-pendules au moyen d'un gabarit</b> .....	<b>13</b>

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**  
Full standard:  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d98e5258-2425-4ea5-bde5-bc2b3458fd46/iso-148-2-2016>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 148-2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 164, *Essais mécaniques des métaux*, sous-comité SC 4, *Essais de ténacité*.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 148-2:2008), qui a fait l'objet d'une révision technique.

L'ISO 148 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Matériaux métalliques — Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy*:

- *Partie 1: Méthode d'essai*
- *Partie 2: Vérification des machines d'essai (mouton-pendule)*
- *Partie 3: Préparation et caractérisation des éprouvettes Charpy à entaille en V pour la vérification indirecte des machines d'essai mouton-pendule*

## Introduction

La conformité d'un mouton-pendule pour l'essai de réception de matériaux métalliques était habituellement basée sur l'étalonnage de son échelle et la vérification de la conformité des dimensions spécifiées, telles que la forme et la distance entre les appuis supportant l'éprouvette. L'étalonnage de l'échelle était communément vérifié par le mesurage de la masse du pendule et de sa position pour différentes lectures sur l'échelle. Ce mode opératoire d'évaluation de la machine offrait le net avantage de requérir seulement des mesurages de quantités qui peuvent présenter une traçabilité à des normes nationales. La nature objective de tels mesurages traçables réduit la nécessité d'arbitrage concernant la conformité des machines pour les essais de réception d'un matériau.

Cependant, deux machines qui ont été évaluées par le mode opératoire de vérification directe décrit ci-dessus, et qui ont satisfait toutes deux aux exigences dimensionnelles, peuvent donner quelquefois des valeurs d'énergie de rupture significativement différentes lors d'essais sur des éprouvettes d'un même matériau. Cette différence est importante commercialement lorsque les valeurs obtenues sur une machine répondent à la spécification de matériau alors que celles obtenues sur l'autre machine ne sont pas satisfaisantes. Afin d'éviter de tels désaccords, certains acheteurs de matériaux ajoutent l'exigence que toutes les machines d'essai de flexion utilisées pour l'essai de réception du matériau qui leur est vendu soient vérifiées de façon indirecte par l'utilisation d'éprouvettes de référence fournies par leurs soins. Une machine est considérée comme acceptable uniquement si les valeurs obtenues avec la machine satisfont, dans les limites spécifiées, à la valeur fournie avec les éprouvettes de référence.

Cette norme décrit aussi bien la vérification directe d'origine que les procédures de vérification indirecte.

**iTeh STANDARD**  
(standardsiteh.ai)  
Full standard:  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/iso-148-2-2016/2425-4ea5-bde5-bc2b3458fa46/iso-148-2-2016>

# Matériaux métalliques — Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy — Partie 2: Vérification des machines d'essai (mouton-pendule)

## 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 148 traite de la vérification des éléments des machines d'essai de flexion par choc (moutons-pendules) à propos de leurs éléments de construction, leur performance globale et la précision des résultats qu'ils produisent. Elle s'applique aux machines ayant des couteaux de 2 mm ou de 8 mm utilisées pour les essais de flexion par choc effectués par exemple conformément à l'ISO 148-1.

Elle peut s'appliquer de manière analogue aux moutons-pendules de capacités ou de conceptions différentes.

Les machines de choc utilisées pour les essais des matériaux métalliques par des laboratoires industriels, généralistes ou de recherche conformément à la présente partie de l'ISO 148 sont qualifiées de machines industrielles. Celles répondant à des exigences plus contraignantes sont qualifiées de machines de référence. Les exigences relatives à la vérification des machines de référence sont fixées dans l'ISO 148-3.

La présente partie de l'ISO 148 décrit deux méthodes de vérification:

- 1) La méthode directe, qui est de nature statique, comprend des mesurages sur les parties critiques de la machine pour s'assurer qu'elle satisfait aux exigences de la présente partie de l'ISO 148. Les instruments utilisés pour la vérification et l'étalonnage ont une traçabilité aux étalons nationaux. Les méthodes directes sont utilisées lors de l'installation ou de la réparation de la machine ou lorsque la méthode indirecte donne un résultat non conforme.
- 2) La méthode indirecte, qui est de nature dynamique, utilise des éprouvettes de référence afin de vérifier des points sur l'échelle de mesure.

Un mouton-pendule n'est pas conforme à la présente partie de l'ISO 148 tant qu'il n'a pas été vérifié par les deux méthodes, directe et indirecte, et satisfait aux exigences des Articles 6 et 7.

Les exigences relatives aux éprouvettes de référence sont données dans l'ISO 148-3.

La présente partie de l'ISO 148 décrit comment prendre en compte les différentes composantes de l'énergie totale absorbée par la rupture de l'éprouvette au moyen d'une méthode indirecte. Cette énergie totale absorbée consiste en

- l'énergie nécessaire pour rompre l'éprouvette elle-même, et
- les pertes internes d'énergie du mouton-pendule effectuant la première demi-oscillation depuis sa position initiale.

NOTE Les pertes internes d'énergie sont dues :

- à la résistance de l'air, aux frottements des paliers de l'axe de rotation et de l'index du mouton-pendule et peuvent être déterminées par la méthode directe (voir 6.4.5), et
- au choc sur les fondations, aux vibrations du bâti et du pendule, pour lesquelles aucune méthode de mesure et aucun appareillage appropriés n'ont été développés.

## 2 Références normatives

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 148-1, Matériaux métalliques — Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy —Partie 1: Méthode d'essai

ISO 148-3, Matériaux métalliques — Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy —Partie 3: Préparation et caractérisation des éprouvettes Charpy à entaille en V pour la vérification indirecte des machines d'essai mouton-pendule

ISO 7500-1:2004, Matériaux métalliques — Vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux — Partie 1: Machines d'essai de traction/compression — Vérification et étalonnage du système de mesure de force, Annexe D

## 3 Termes et définitions

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

### 3.1 Définitions relatives à la machine

#### 3.1.1

##### **appui**

partie de la machine servant à positionner correctement l'éprouvette pour l'impact, par rapport au couteau et aux supports d'éprouvette, et qui supporte l'éprouvette sous la force de l'impact

#### 3.1.2

##### **base du bâti**

partie du bâti de la machine située sous le plan horizontal des supports

#### 3.1.3

##### **centre de percussion**

point d'un corps où, lorsqu'on frappe un coup, l'action de percussion est la même que si la masse totale du corps était concentrée en ce point

NOTE Lorsqu'un mouton-pendule simple délivre un coup selon une ligne horizontale passant par le centre de percussion, il n'y a aucune réaction résultante sur l'axe de rotation.

Voir Figure 4.

#### 3.1.4

##### **point d'impact**

point de l'arête du couteau du pendule au niveau duquel l'arête verticale du couteau rencontre le plan horizontal à mi-hauteur de l'éprouvette (c'est-à-dire 5 mm) ou d'une barre équivalente reposant sur les supports de l'éprouvette, lorsque le pendule est libre

Voir Figure 4.

#### 3.1.5

##### **machine industrielle**

mouton-pendule utilisé pour des essais industriels, généraux ou la plupart des essais de laboratoire effectués sur des matériaux métalliques

NOTE 1 les machines industrielles ne sont pas utilisées pour la détermination des valeurs de références, sauf si elles remplissent les exigences d'un mouton-pendule de référence (voir ISO 148-3).

NOTE 2 Les machines industrielles sont vérifiées selon les modes opératoires décrits dans la présente partie de l'ISO 148.

### 3.1.6

#### **machine de référence**

mouton-pendule utilisé pour la détermination des valeurs certifiées de lots d'éprouvettes de référence

NOTE Les machines de référence sont vérifiées en utilisant les procédures décrites dans l'ISO 148-3

### 3.1.7

#### **couteau**

partie du pendule qui sera en contact avec l'éprouvette

NOTE Le bord qui touche l'éprouvette a un rayon de 2 mm (couteau de 2 mm) ou de 8 mm (couteau de 8 mm).

Voir Figure 2.

### 3.1.8

#### **supports d'éprouvette**

partie de la machine servant à positionner correctement l'éprouvette pour l'impact par rapport au centre de percussion du pendule, du couteau et des appuis

Voir Figures 2 et 3.

## 3.2 Définitions relatives à l'énergie

### 3.2.1

#### **énergie totale absorbée**

$K_T$

énergie totale absorbée requise pour rompre une éprouvette avec un mouton-pendule qui n'est pas corrigé pour de quelconques pertes d'énergie

NOTE Elle est égale à la différence d'énergie potentielle entre la position initiale du pendule et la position de celui-ci à la fin de la première demi-oscillation pendant laquelle l'éprouvette est rompue (voir 6.3).

### 3.2.2

#### **énergie potentielle initiale**

$K_P$

énergie potentielle du marteau du pendule avant qu'il soit libéré pour l'essai de choc, telle qu'elle est déterminée par vérification directe

NOTE Voir 6.4.2.

### 3.2.3

#### **énergie absorbée**

$K$

énergie requise pour rompre une éprouvette avec un mouton-pendule, après correction du frottement comme défini en 6.4.5

NOTE La lettre V ou U est utilisée pour indiquer la géométrie de l'entaille, soit  $KV$  ou  $KU$ . Le chiffre 2 ou 8 est utilisé comme indice pour indiquer le rayon du couteau, par exemple  $KV_2$ .

### 3.2.4

#### **énergie calculée**

$K_{calc}$

énergie calculée à partir des valeurs d'angle, de longueur et de la force mesurée lors de la vérification directe

**3.2.5**

**énergie potentielle initiale nominale**

énergie nominale

$K_N$

énergie attribuée par le constructeur du mouton-pendule

**3.2.6**

**énergie absorbée indiquée**

$K_S$

énergie donnée par l'indicateur de la machine d'essai, qui peut ou non nécessiter une correction pour les frottements afin de déterminer l'énergie absorbée,  $K$

**3.2.7**

**énergie absorbée de référence**

$K_R$

valeur certifiée de l'énergie absorbée associée aux éprouvettes utilisées pour vérifier les performances des moutons-pendules

**3.3 Définitions relatives aux éprouvettes**

**3.3.1**

**largeur**

distance entre la face entaillée et la face opposée

**3.3.2**

**épaisseur**

dimension perpendiculaire à la hauteur et parallèle à l'entaille

**3.3.3**

**longueur**

dimension la plus grande, perpendiculaire à l'entaille

**3.3.4**

**éprouvette de référence**

éprouvette de flexion par choc utilisée pour vérifier la conformité des moutons-pendules par comparaison de l'énergie absorbée indiquée par la machine avec l'énergie absorbée de référence associées aux éprouvettes

NOTE Les éprouvettes de référence sont préparées conformément à l'ISO 148-3

**4 Symboles et abréviations**

Pour les besoins du présent document, les symboles et abréviations données dans le Tableau 1 s'appliquent.

Tableau 1 — Symboles, abréviations et leur désignation et unité

Symbole/ abréviation <sup>a</sup>	Unité	Désignation
$B_V$	J	Erreur du mouton-pendule telle que déterminée par la vérification indirecte
$b$	J	Répétabilité
$F$	N	Force exercée par le pendule, mesurée à une distance $l/2$
$F_g$	N	Force exercée par le pendule due à la pesanteur
$g$	$m/s^2$	Accélération due à la pesanteur
GUM	—	Guide ISO pour l'expression de l'incertitude de mesure [8]
$h$	m	Hauteur de chute du pendule
$H_1$	m	Hauteur de remontée du pendule
ISO	—	Organisation internationale de normalisation
$K$	J	Énergie absorbée (exprimée en $KV_2$ , $KV_8$ , $KU_2$ , $KU_8$ , pour identifier les géométries spécifiques d'entailles et de rayons de l'arête du couteau)
$K_T$	J	Énergie totale absorbée
$K_S$	J	Énergie absorbée indiquée
$K_{calc}$	J	Énergie calculée
$KV_R$	J	Valeur $KV$ certifiée du matériau de référence utilisé pour la vérification indirecte
$\overline{KV_V}$	J	Valeur $KV$ moyenne des éprouvettes de référence soumises à essai lors de la vérification indirecte
$K_N$	J	Énergie potentielle initiale nominale (énergie nominale)
$K_R$	J	Énergie absorbée de référence d'un jeu d'éprouvettes de référence Charpy
$K_P$	J	Énergie potentielle initiale (énergie potentielle)
$K_1$ or $\beta_1$	J ou degré	Énergie absorbée indiquée ou angle de remontée lorsque la machine est utilisée de façon normale sans éprouvette en position
$K_2$ or $\beta_2$	J ou degré	Énergie absorbée indiquée ou angle de remontée lorsque la machine est utilisée de façon normale sans éprouvette en position et sans nouveau réglage du mécanisme d'indication
$K_3$ or $\beta_3$	J ou degré	Énergie absorbée indiquée ou angle de remontée après 11 demi-oscillations lorsque la machine est utilisée de façon normale sans éprouvette en position et sans nouveau réglage du mécanisme d'indication

Tableau 1 (Suite)

Symbole/ abréviation <sup>a</sup>	Unité	Désignation
$l$	m	Distance du centre de l'éprouvette (centre du couteau) à l'axe de rotation (longueur du pendule)
$l_1$	m	Distance du centre de percussion à l'axe de rotation
$l_2$	m	Distance du point d'application de la force $F$ à l'axe de rotation
$M$	N·m	Moment, égal au produit $Fx_2$
$n_V$	—	Nombre d'éprouvettes de référence soumises à essai pour la vérification indirecte d'un mouton-pendule
$p$	J	Perte d'énergie absorbée due aux frottements de l'index
$p'$	J	Perte d'énergie absorbée due aux frottements dans les paliers et à la résistance de l'air
$p_\beta$	J	Correction de la perte d'énergie pour un angle de remontée $\beta$
$r$	J	Résolution de l'échelle du pendule
RM	—	Matériau de référence
$s_V$	J	Écart-type des valeurs $KV$ obtenues sur les $n_V$ éprouvettes de référence
$S$	J	Erreur du mécanisme de l'échelle
$t$	s	Période du pendule
$T$	s	Durée totale de 100 oscillations du pendule
$T_{\max}$	s	Valeur maximale de $T$
$T_{\min}$	s	Valeur minimale de $T$
$u$	—	Incertitude-type
$u(\overline{KV_V})$	J	Incertitude-type de $\overline{KV_V}$
$u(B_V)$	J	Contribution d'incertitude-type à partir de l'erreur
$u(F)$	J	Incertitude-type de la force mesurée, $F$
$u(F_{\text{fid}})$	J	Incertitude-type du transducteur de force
$u(r)$	J	Contribution d'incertitude-type à partir de la résolution
$u_{\text{RM}}$	J	Incertitude-type de la valeur certifiée du matériau de référence utilisé pour la vérification indirecte
$u_V$	J	Incertitude-type du résultat de la vérification indirecte
$\alpha$	degré	Angle de chute du pendule
$\beta$	degré	Angle de remontée du pendule
$\nu_B$	—	Degrés de liberté correspondant à $u(B_V)$
$\nu_V$	—	Degrés de liberté correspondant à $u_V$
$\nu_{\text{RM}}$	—	Degrés de liberté correspondant à $u_{\text{RM}}$
<sup>a</sup> Voir Figure 4.		