
**Matériaux métalliques —
Détermination des courbes limites de
formage pour les tôles et bandes —**

Partie 2:

**Détermination des courbes limites de
formage en laboratoire**

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
*Metallic materials — Determination of forming-limit curves for sheet
and strip —*
Part 2: Determination of forming-limit curves in the laboratory

[ISO 12004-2:2021](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ea879696-1b8e-425f-acd4-05b3b9aec8c4/iso-12004-2-2021>



Numéro de référence
ISO 12004-2:2021(F)

iTeh Standards

(<https://standards.iteh.ai>)

Document Preview

[ISO 12004-2:2021](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ea879696-1b8e-425f-acd4-05b3b9aec8c4/iso-12004-2-2021>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2021

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
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	v
Introduction	vii
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles	1
5 Principe	2
6 Éprouvettes et équipement	3
6.1 Éprouvettes	3
6.1.1 Épaisseur des éprouvettes	3
6.1.2 Géométrie des éprouvettes	4
6.1.3 Préparation de l'éprouvette dans la zone d'essai	4
6.1.4 Nombre de géométries différentes d'éprouvette	4
6.1.5 Nombre d'essais pour chaque géométrie	4
6.2 Application de la grille	5
6.2.1 Type de grille	5
6.2.2 Application de la grille	5
6.2.3 Exactitude de la grille non déformée	5
6.3 Équipement d'essai	5
6.3.1 Généralités	5
6.3.2 Mesurage des déformations	7
6.3.3 Essai Nakajima	8
6.3.4 Essai Marciniak	10
7 Analyse du profil de déformation et détermination des paires $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$	11
7.1 Généralités	11
7.2 Évaluation au moyen de sections (mesurage dépendant de la position)	12
7.2.1 Généralités	12
7.2.2 Position et exploitation des mesures	12
7.2.3 Extraction de la "courbe en cloche" et détermination des limites intérieures pour la courbe de meilleur fit à partir des points expérimentaux	14
7.2.4 Définition des limites extérieures pour les fenêtres de meilleur fit et évaluation de la parabole inverse de meilleur fit sur la "courbe en cloche"	15
8 Documentation	16
9 Rapport d'essai	17
Annexe A (normative) Dérivée seconde et dérivée seconde "filtrée"	18
Annexe B (normative) Calcul de la largeur de la fenêtre de fit	20
Annexe C (normative) Évaluation de la parabole inverse de meilleur fit sur la "courbe en cloche"	21
Annexe D (normative) Application/Mesure de la grille — Évaluation à la loupe ou au microscope	23
Annexe E (informative) Tableaux de données expérimentales pour la validation du programme de calcul	24
Annexe F (normative) Représentation et description mathématique de la CLF	25
Annexe G (informative) Exemples de données relatives à des sections critiques	26
Annexe H (normative) Logigramme relatif au passage de la distribution des déformations mesurées aux valeurs de la CLF	28

Bibliographie	30
----------------------------	-----------

**iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview**

[ISO 12004-2:2021](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ea879696-1b8e-425f-acd4-05b3b9aec8c4/iso-12004-2-2021>

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 (voir 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).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, de 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 www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 164, *Essais mécaniques des métaux*, Sous-comité SC 2, *Essais de ductilité*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 459/SC 1, *Méthodes d'essai des aciers (autres que les analyses chimiques)*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 12004-2:2008), qui a fait l'objet d'une révision technique.

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

- 1) Modification du titre pour comporter trois éléments.
- 2) Ajout des [Articles 2](#) et [3](#) et renumérotation des paragraphes suivants en conséquence.
- 3) Dans l'Introduction, modification des cas où utiliser l'ISO 12004-1 ou l'ISO 12004-2 (le présent document).
- 4) Rédaction plus claire des autorisations et exigences en [6.1.3](#), [6.1.5](#), [6.2.2](#), [6.2.3](#), [6.3.2](#), [6.3.3.3](#), [6.3.4.3](#) et, [7.2.2](#) et [7.2.3](#).
- 5) En [6.3.1](#), la gamme de vitesse du poinçon a été étendue et l'autorisation, dans des cas exceptionnels, des alliages d'aluminium et de l'acier, a été ajoutée.
- 6) Ajout d'un éclaircissement sur la méthode Nakajima qui reste acceptable, bien qu'elle soit connue comme produisant des chemins de déformation non linéaire ([6.3.3.1](#)). Ajout en [6.3.3.3](#) d'un éclaircissement sur la raison pour laquelle il est exigé que la rupture soit proche du sommet du dôme. En [6.3.3.3](#), présentation de l'exigence de «validité de l'essai» pour l'essai Nakajima dans un

format similaire à celui utilisé pour l'essai Marciak en [6.3.4.4](#). En [6.3.3.3](#) et [6.3.4.4](#), ajout d'une déclaration relative au rejet des éprouvettes non conformes aux exigences de validité de l'essai.

- 7) Suppression du paragraphe «Instrument de mesure» (4.3.5 dans l'édition précédente) car c'est une répétition du [6.3.2](#) mais avec une exigence de précision différente. La précision exigée est maintenant celle présentée en [6.3.2](#).
- 8) Rédaction plus claire des exigences relatives à l'intervalle de la dérivée seconde en [7.2.3\(c\)](#) et modification des légendes des [Figures 8](#) et [9](#) pour assurer la cohérence avec [7.2.3\(c\)](#).
- 9) Rédaction plus claire de l'autorisation d'utiliser d'autres méthodes de mesure et déplacement de [7.2.1](#) à [7.1](#).
- 10) Suppression de l'énoncé relatif à «la méthode dépendant du temps» en [7.1](#), mais il est mentionné maintenant dans [l'Article 5](#) l'autorisation d'utiliser d'autres méthodes qui incluent «la méthode dépendant du temps» et «les méthodes dépendant du temps et de la position».
- 11) En [7.2.2](#), clarification de la méthode de sélection de l'emplacement des sections selon la position des fissures. Ajout de l'autorisation à utiliser l'emplacement de déformation maximale, tant que les exigences de validité de l'essai sont respectées.
- 12) En [7.2.3](#), l'utilisation du mode opératoire lors de l'extraction de la «courbe en cloche» pour l'évaluation des sections au moyen de la méthode dépendant de la position, est devenue une exigence et non plus une simple recommandation. Cela semble cohérent avec l'intention d'origine.
- 13) Dans l'[Annexe A](#), la méthode est devenue une exigence et non plus une proposition. Éclaircissement apporté au texte de l'[Annexe C](#) pour montrer que le mode opératoire est devenu une exigence. Ajout d'une précision dans le texte de l'[Annexe D](#) et autorisation formelle de son utilisation. A l'[Annexe F](#), ajout de l'autorisation formelle à utiliser une régression au moyen de fonctions développées en interne. Ajout de l'exigence de consigner la fonction dans le rapport d'essai.
- 14) Des modifications rédactionnelles et des clarifications ont été apportées tout au long du document.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 12004 se trouve sur le site web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent [2021](#) 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.

Introduction

Un diagramme limite de formage (DLF) est un diagramme contenant les points de mesure pour les déformations majeure/mineure sur une pièce formée.

Un DLF permet de faire la distinction entre points bons et points en striction ou correspondant à une rupture. La frontière entre points bons et points correspondant à une rupture est définie par la courbe limite de formage (CLF).

Pour déterminer la limite de formage de matériaux, deux voies différentes sont possibles:

- 1) Une analyse des déformations d'éléments emboutis en atelier et rompus pour déterminer des CLF dépendant de l'élément et du processus.

Dans les ateliers d'emboutissage, les chemins de déformation pour obtenir ces points ne sont généralement pas connus. Une telle CLF dépend du matériau, de l'élément et des conditions de formage choisies. Cette méthode est décrite dans l'ISO 12004-1, et n'est pas destinée à déterminer une CLF unique pour chaque matériau.

- 2) Détermination des CLF dans des conditions de laboratoire bien définies.

Pour évaluer la formabilité, une CLF unique pour chaque matériau dans plusieurs états de déformation peut être mesurée. La détermination de la CLF doit être spécifique et utilise des chemins de déformation linéaires multiples. Le présent document est prévu pour ce type de caractérisation du matériau.

Pour le présent document (concernant la détermination des courbes limites de formage en laboratoire), les conditions suivantes sont également notables.

- Les courbes limites de formage (CLF) sont déterminées pour des matériaux spécifiques afin de définir le niveau auquel ils peuvent être déformés par emboutissage, par rétreint ou par expansion ou toute combinaison d'emboutissage et de rétreint ou d'expansion. Cette capacité est limitée lorsqu'une striction localisée et/ou une rupture se produit. De nombreuses méthodes existent pour déterminer la limite de formage d'un matériau, mais les résultats obtenus au moyen de différentes méthodes ne peuvent pas être utilisés à des fins de comparaison.
- La CLF caractérise la limite de déformation d'un matériau dans l'état obtenu après un traitement thermo-mécanique donné et pour l'épaisseur analysée. Pour porter un jugement sur sa formabilité, une connaissance supplémentaire des caractéristiques mécaniques et de l'histoire du matériau avant l'essai de CLF est importante.

Pour comparer la formabilité de différents matériaux, il est important non seulement de porter un jugement sur la CLF mais également sur les paramètres suivants:

- a) caractéristiques mécaniques au moins dans la direction principale;
- b) allongement proportionnel en pourcent à la force maximale, conformément à l'ISO 6892-1;
- c) coefficient r pour une gamme donnée de déformations, conformément à l'ISO 10113;
- d) coefficient n pour une gamme donnée de déformations, conformément à l'ISO 10275.

Matériaux métalliques — Détermination des courbes limites de formage pour les tôles et bandes —

Partie 2: Détermination des courbes limites de formage en laboratoire

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie des conditions d'essai à utiliser pour la construction d'une courbe limite de formage (CLF) à la température ambiante et au moyen de chemins linéaires de déformation. Le matériau considéré est plat, métallique et d'épaisseur comprise entre 0,3 mm et 4 mm.

NOTE La limitation en épaisseur à 4 mm est proposée, donnant un rapport maximal admissible épaisseur/diamètre du poinçon.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative

(<https://standards.iteh.ai>)

3 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

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

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ea8/9096-1b8e-425f-acd4-05b3b9aec8c4/iso-12004-2-2021>

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

4 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles donnés dans le [Tableau 1](#) s'appliquent.

Tableau 1 — Symboles

Symbol	Anglais	Français	Allemand	Unité
e	Engineering strain	Déformation conventionnelle	Technische Dehnung	%
ε	True strain (logarithmic strain)	Déformation vraie (déformation logarithmique)	Wahre Dehnung (Umformgrad, Formänderung)	—
ε_1	Major true strain	Déformation majeure vraie	Grössere Formänderung	—
ε_2	Minor true strain	Déformation mineure vraie	Kleinere Formänderung	—
ε_3	True thickness strain	Déformation vraie en épaisseur	Dickenformänderung	—
σ	Standard deviation	Écart-type	Standardabweichung	—
D	Punch diameter	Diamètre du poinçon	Stempeldurchmesser	mm
D_{bh}	Carrier blank hole diameter	Diamètre du trou du contre-flan	Lochdurchmesser des Trägerblechs	mm

Tableau 1 (suite)

Symbol	Anglais	Français	Allemand	Unité
$X(0), X(1) X(m)$ $X(n)$	X-position	Position en X	X-Position	mm
$f(x) =$ $ax^2 + bx + c$	Best-fit parabola	Parabole de meilleur fit	Best-Fit-Parabel	—
$f(x) = 1/$ $(ax^2 + bx + c)$	Best-fit inverse parabola	Parabole inverse de meilleur fit	Inverse Best-Fit-Parabel	—
$S(0), S(1) ... S(5)$	Section	Section	Schnitt	—
n	Number of X-positions	Nombre de points en X	Nummer der X-Positionen	—
m	Number of the X-position at the failure/crack position	Numéro du point en X correspondant à la rupture	Nummer der X-Position am Riss	—
w	Width of the fit window	Largeur de la fenêtre de fit	Breite des Fit-Fensters	mm
t_0	Initial sheet thickness	Épaisseur initiale de la tôle	Ausgangsblechdicke	mm
r	Plastic strain ratio	Coefficient d'anisotropie plastique	Senkrechte Anisotropie	—

Le Tableau 2 donne une comparaison des symboles utilisés dans différents pays.

Tableau 2 — Comparaison des symboles utilisés dans différents pays

Français	Symbol international	Symbol allemand	Format	Unité
Déformation conventionnelle	e	ε	—	%
Déformation vraie (Déformation logarithmique)	ε	φ	Décimal	—
$\varepsilon = \ln(1 + e)$	—	—	—	—

<https://standards.nist.gov/catalog/standards/iso/ea879696-1b8e-4251-acd4-05b3b9aecd8c4/iso-12004-2-2021>
Le symbole utilisé pour la déformation vraie est " ε "; dans les pays parlant l'allemand, le symbole " φ " est utilisé pour la déformation vraie. En outre, dans les pays parlant allemand, le symbole " ε " est utilisé pour définir les déformations conventionnelles.

La notation pour la déformation vraie utilisée dans ce texte est " ε ", suivant en cela la définition internationale courante.

5 Principes

La CLF est destinée à représenter la limite pratiquement intrinsèque d'un matériau en déformation, en supposant un chemin de déformation linéaire. Pour déterminer la CLF avec exactitude, il est nécessaire d'avoir un chemin de déformation aussi linéaire que possible.

Une grille déterministe de dimensions précises ou un motif stochastique est appliquée à la surface plane et non déformée d'un flan. Ce flan est alors déformé en appliquant la procédure Nakajima ou la procédure Marciniak jusqu'à la rupture, moment auquel l'essai est arrêté.

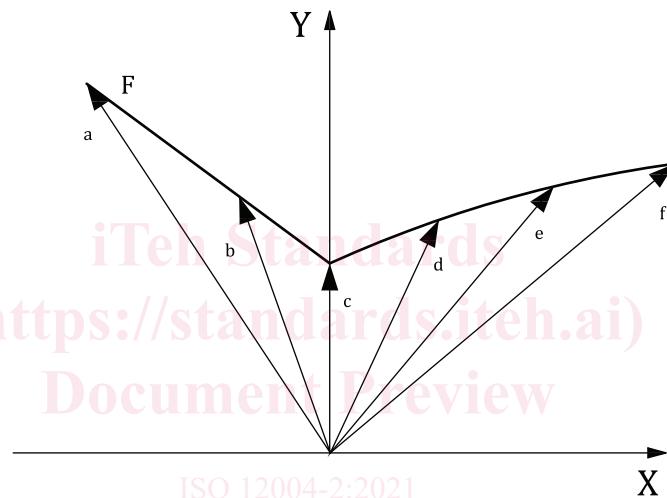
Il convient que la détermination de la CLF à partir de mesures soit réalisée au moyen de la méthode "dépendant de la position" décrite en 7.2.

Il existe d'autres méthodes (par exemple, "dépendant du temps" ou "dépendant du temps et de la position") de détermination de la CLF à partir des mesures. Suivant accord entre les parties intéressées, l'une ou l'autre méthode peut être utilisée et, si c'est le cas, la méthode doit être indiquée dans le rapport d'essai.

La déformation de l'éprouvette déformée est déterminée et les déformations mesurées sont exploitées de telle manière que la zone avec striction ou rupture soit éliminée des résultats. La déformation maximale qui peut être imposée sur le matériau sans rupture est alors déterminée par interpolation. Ce maximum de la courbe interpolée est défini comme la limite de formage.

Les limites de formage sont déterminées pour plusieurs chemins de déformation (rapports entre ε_1 et ε_2 différents). Les chemins de déformation déterminés vont de la traction uniaxiale à l'expansion biaxiale (emboutissage en expansion). La courbe reliant les limites de formage pour différents états de déformation donne la courbe limite de formage. La courbe est présentée en fonction des deux déformations vraies, ε_1 et ε_2 , dans le plan de la tôle et est tracée sur un diagramme, le diagramme limite de formage. Les déformations mineures vraies ε_2 sont portées sur l'axe des X et les déformations majeures vraies ε_1 sont portées sur l'axe des Y (voir [Figure 1](#)).

Des formules courantes de conversion permettent le calcul des déformations majeures vraies (ε_1) et des déformations mineures vraies (ε_2) à partir de modifications de longueur ou de déformations conventionnelles mesurées. Dans ce qui suit, le mot déformation implique la déformation vraie, qui est également appelée déformation logarithmique.



<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ea879696-1b8e-425f-acd4-05b3b9aec8c4/iso-12004-2-2021>

Légende

- X déformation mineure vraie, ε_2
- Y déformation majeure vraie, ε_1
- F CLF
- a Traction uniaxiale, $\varepsilon_2 = -[r/(r + 1)] \varepsilon_1$.
- b Déformation en traction intermédiaire.
- c Déformation plane.
- d État intermédiaire de déformation en expansion.
- e État intermédiaire de déformation en expansion.
- f Expansion équi-biaxiale (= état de déformation en expansion) $\varepsilon_2 = \varepsilon_1$.

Figure 1 — Illustration de six chemins de déformation différents

6 Éprouvettes et équipement

6.1 Éprouvettes

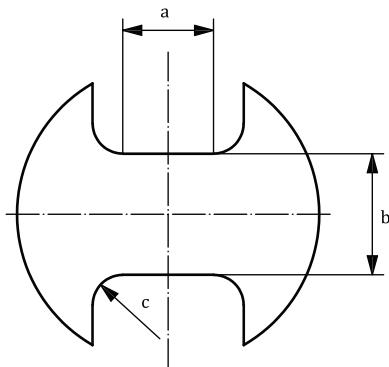
6.1.1 Épaisseur des éprouvettes

Ce mode opératoire concerne les tôles métalliques planes d'épaisseur comprise entre 0,3 mm et 4 mm.

Pour les tôles en acier, une épaisseur maximale de 2,5 mm est recommandée.

6.1.2 Géométrie des éprouvettes

Les géométries suivantes sont recommandées: flans échancrés avec une partie centrale calibrée de longueur supérieure à 25 % du diamètre du poinçon (pour un poinçon de 100 mm: longueur de la partie centrale égale de préférence à 25 mm à 50 mm, rayon de raccordement 20 mm à 30 mm) (voir [Figure 2](#)).



- a Longueur de la partie centrale.
- b Largeur de flan restante.
- c Rayon de raccordement.

Figure 2 — Géométrie de l'éprouvette échancrée avec partie centrale calibrée (forme en os de chien)

Pour $\varepsilon_2 > 0$, des flans avec découpes semi-circulaires avec différents rayons sont possibles.

Pour l'acier (principalement nuances d'acier doux), des bandes rectangulaires de différentes largeurs sont suffisantes si les éprouvettes n'atteignent pas la rupture pour le rayon de matrice, sinon utiliser la géométrie d'éprouvette décrite ci-avant.

Avec une forme extérieure de flan circulaire, il est possible d'obtenir une répartition des points expérimentaux de limite de formage, plus uniforme que celle obtenue avec des bandes rectangulaires.

6.1.3 Préparation de l'éprouvette dans la zone d'essai

Le fraisage, l'électroérosion ou d'autres méthodes qui ne causent pas de fissures, d'écrouissage ou de modification de la microstructure peuvent être utilisés et permettent d'assurer que la rupture ne s'amorce jamais à partir des bords des éprouvettes.

6.1.4 Nombre de géométries différentes d'éprouvette

Au moins cinq géométries pour la description d'une CLF complète sont nécessaires. Une répartition uniforme de la traction uniaxiale à l'expansion biaxiale est recherchée pour la CLF.

Si la description d'une CLF complète n'est pas nécessaire, alors un nombre plus faible de géométries est admis mais cela doit être mentionné dans le rapport d'essai.

6.1.5 Nombre d'essais pour chaque géométrie

Autant d'éprouvettes qu'il est nécessaire doivent être soumises à l'essai pour obtenir au moins trois échantillons valables pour chaque géométrie d'éprouvette.