

**Fabrication additive de
céramiques — Conception — Lignes
directrices relatives à la conception**

*Additive manufacturing of ceramics — Design — Design
guidelines*

**Première édition
2026-10**

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO/ASTM International 2026

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 un intranet, sans autorisation écrite soit de l'ISO à l'adresse ci-après, soit d'un organisme membre de l'ISO dans le pays du demandeur. Aux États-Unis, les demandes doivent être adressées à ASTM International.

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

ASTM International
100 Barr Harbor Drive, PO Box C700
West Conshohocken, PA 19428-2959, USA
Tél.: +610 832 9634
Fax: +610 832 9635
E-mail: khooper@astm.org
Web: www.astm.org

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Fabrication et propriétés des pièces en céramique	4
4.1 Généralités	4
4.2 Propriétés et applications	4
4.3 Procédé de fabrication céramique	9
4.4 Recommandations générales de conception pour pièces en céramique	11
5 Liberté de conception et limites de la fabrication additive	12
5.1 Généralités	12
5.2 Orientation fonctionnelle	12
5.3 Intégration des fonctions	12
5.4 Liberté d'utiliser des dégagements	12
5.5 Optimisation de la topologie	13
5.6 Orientation et anisotropie des pièces	13
5.7 Support	13
5.7.1 Généralités	13
5.7.2 Matériau de support identique au matériau de la pièce	14
5.7.3 Matériau de support non identique au matériau de la pièce	14
5.8 Finition de surface	14
5.8.1 Généralités	14
5.8.2 Effet d'escalier	15
5.9 Porosité	15
5.10 Interface de la plateforme de fabrication	16
6 Catégories de procédés de fabrication additive adaptées aux céramiques	16
6.1 Généralités	16
6.2 Extrusion de matériau (MEX) — Plastiques et thermoplastiques à froid	18
6.2.1 Généralités	18
6.2.2 Description du procédé	18
6.2.3 Caractéristiques spéciales liées au procédé pour la conception	19
6.3 Projection de liant (BJT)	19
6.3.1 Généralités	19
6.3.2 Description du procédé – Matière première en poudre	20
6.3.3 Description du procédé – Matière première en suspension	20
6.3.4 Caractéristiques spéciales liées au procédé pour la conception	20
6.4 Photopolymérisation en cuve (VPP)	20
6.4.1 Généralités	20
6.4.2 Description du procédé	22
6.4.3 Caractéristiques spéciales liées au procédé de conception	23
6.5 Projection de matériau (MJT)	23
6.5.1 Généralités	23
6.5.2 Description du procédé	24
6.5.3 Caractéristiques spéciales liées au procédé pour la conception	24
7 Points forts et champs d'application spécifiques	25
7.1 Généralités	25
7.2 Extrusion de matériau	25
7.3 Projection de liant	25
7.4 Photopolymérisation en cuve	25
7.5 Projection de matériau	26
Bibliographie	27

Avant-propos

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) 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'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de brevet.

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, 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 261, *Fabrication additive*, en coopération avec le comité ASTM F42, *Technologies de fabrication additive*, dans le cadre d'un accord de partenariat entre l'ISO et ASTM International dans le but de créer un ensemble commun de normes ISO/ASTM sur la fabrication additive, et en collaboration avec le comité technique CEN/TC 438, *Fabrication additive*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

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.

Fabrication additive de céramiques — Conception — Lignes directrices relatives à la conception

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les propriétés des pièces, la liberté de conception, les points forts et les applications des matériaux céramiques fabriqués additivement (FA). Il s'adresse aux planificateurs et aux concepteurs de produits et fournit les connaissances de base nécessaires sur les céramiques et les possibilités spécifiques aux céramiques en FA, y compris les points forts et les limites des catégories de procédés de FA les plus utilisées. Des connaissances préalables approfondies dans ces domaines ne sont pas présumées.

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).

ISO/ASTM 52900, *Fabrication additive — Principes généraux — Fondamentaux et vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour l'application du présent document, les termes et les définitions de l'ISO/ASTM 52900 ainsi que les 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 <https://www.electropedia.org/>

3.1 système de liant

mélange de différentes matières organiques ou inorganiques qui après durcissement/séchage/solidification lie le matériau particulaire ensemble en formant l'*ébauche* (3.8) avant la mise en forme

3.2 corps brun

ébauche (3.8) ayant subi une pyrolyse/un *déliantage* (3.5)

Note 1 à l'article: Le corps brun a une très faible résistance mécanique, car les particules individuelles adhèrent les unes aux autres uniquement en raison des forces de surface ainsi que du frottement et du verrouillage positif.

3.3 céramique

tout matériau qui est classifié comme un solide cristallin inorganique et non métallique

3.4 déliantage

retrait d'excédent de matière première adhérent à l'*ébauche* (3.8)

3.5

déliantage

processus d'élimination de tous les composants organiques de l'ébauche (3.8)

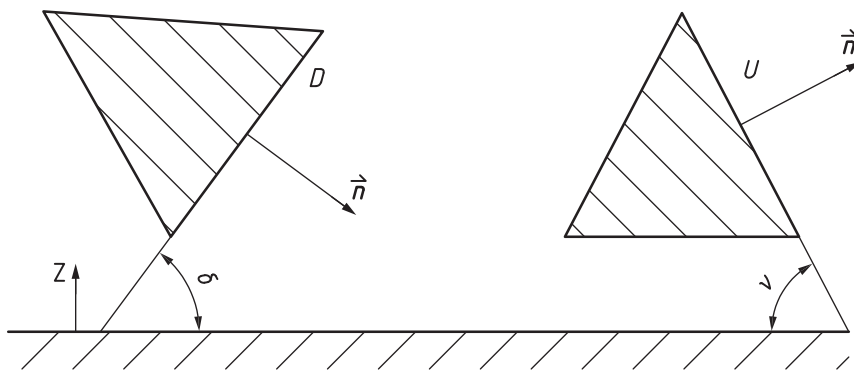
3.6

angle de la contre-dépouille

δ

angle entre le plan de la plateforme de fabrication et la surface de contre-dépouille, D , dont la valeur est comprise entre 0° (parallèlement à la plateforme de fabrication) et 90° (perpendiculairement à la plateforme de fabrication).

Note 1 à l'article: Voir la [Figure 1](#).



Légende

D	surface de contre-dépouille
U	surface de dépouille
$\vec{n}$	vecteur normal

Figure 1 — Angle de la dépouille, ν , et angle de la contre-dépouille, δ , selon la série ISO/ASTM 52911

3.7

granulé

matière première solide et apte à l'écoulement pour les procédés de FA sur lit de poudre

Note 1 à l'article: Le granulé est un composé spécialement fabriqué à partir de nombreuses particules de poudre individuelles, dont les propriétés d'écoulement sont considérablement améliorées par rapport à une poudre standard.

3.8

ébauche

pièce dans un état de traitement intermédiaire, où la forme géométrique voulue est donnée, mais la liaison avec le matériau de la pièce voulue est encore à établir (ce qui a lieu pendant le *frittage* (3.14))

Note 1 à l'article: Pour les procédés céramiques à plusieurs étapes, l'ébauche va généralement consister en une poudre maintenue par le système de liant.

Note 2 à l'article: Les caractéristiques mécaniques d'une ébauche faite à partir de matériaux en poudre sont essentiellement déterminées par le système de liant.

3.9

usinage à cru

usinage de l'ébauche (3.8) pour obtenir la géométrie ou la qualité de surface souhaitée

Note 1 à l'article: L'usinage à cru peut comprendre l'élimination de supports et l'intégration de caractéristiques géométriques spéciales.

3.10

usinage dur

usinage de la *pièce frittée* (3.13) pour obtenir la géométrie, les dimensions ou la qualité de surface de la dimension finale souhaitée

Note 1 à l'article: En raison de la dureté élevée de la pièce frittée, l'usinage dur prend beaucoup de temps et impose des contraintes très élevées aux procédés et aux outils d'usinage.

3.11

infiltration

processus au cours duquel un matériau fluide (liquide, vapeur ou barbotine) est introduit dans les pores connectées d'une préforme en céramique poreuse

3.12

rétrécissement

réduction du volume d'une pièce sans altération de la masse pendant le *frittage* (3.14)

Note 1 à l'article: La réduction du volume due à l'enlèvement de matière (usinage) n'est pas appelée rétrécissement.

3.13

pièce frittée

pièce après *frittage* (3.14) avec les propriétés (*céramiques* (3.3)) finales

3.14

frittage

procédé thermique de compactage et d'adhésion des particules (*céramiques* (3.3)), se déroulant à des températures inférieures à la température de fusion

Note 1 à l'article: En général, le frittage s'accompagne d'un rétrécissement.

Note 2 à l'article: La température pendant le frittage est supérieure à la température de déliantage mais inférieure à la température de fusion du matériau céramique.

3.15

suspension

matière première liquide avec particules en suspension (c'est-à-dire de la poudre de *céramiques* (3.3))

EXEMPLE Barbotine, encre, pâte, boue, etc.

Note 1 à l'article: La suspension peut être solidifiée en éliminant les composants du système de liant ou en initiant des réactions de réticulation.

3.16

dégagement

caractéristique de conception, telle qu'une protrusion horizontale, une cavité ou un canal interne qui dépasse du corps principal et ne peut être produite sans supports

3.17

angle de la dépouille

ν

angle entre le plan de la plateforme de fabrication et la surface de dépouille U dont la valeur est comprise entre 0° (parallèlement à la plateforme de fabrication) et 90° (perpendiculairement à la plateforme de fabrication)

Note 1 à l'article: Voir la [Figure 1](#).

3.18

usinage blanc

usinage du corps blanc pour obtenir la géométrie ou la qualité de surface souhaitée

Note 1 à l'article: Il convient que le rétrécissement qui s'ensuit pendant le frittage soit pris en compte et compensé par un surdimensionnement approprié.

Note 2 à l'article: L'usinage blanc peut comprendre l'élimination des supports et l'intégration de caractéristiques géométriques spéciales.

3.19

corps blanc

ébauche (3.8) ou *corps brun* (3.2) dans lequel le *frittage* (3.14) initial des particules, y compris la formation de cols de frittage, a été initié par un traitement thermique

Note 1 à l'article: La résistance mécanique du corps blanc est nettement supérieure à celle du corps brun, mais reste nettement inférieure à celle de la pièce frittée.

4 Fabrication et propriétés des pièces en céramique

4.1 Généralités

Dans le présent article, les propriétés et les applications sont d'abord présentées (voir 4.2). Le procédé de fabrication de la céramique est ensuite expliqué (voir 4.3), ce qui permet de dégager des recommandations générales relatives à la conception (voir 4.4).

4.2 Propriétés et applications

Les propriétés spécifiques des matériaux céramiques, qui ne peuvent généralement pas être égales par d'autres matériaux, offrent des applications polyvalentes.

Par rapport aux métaux, les matériaux céramiques peuvent offrir une dureté, une résistance thermique, une résistance à la corrosion et une résistance à l'usure plus élevées, ainsi qu'une densité et une dilatation thermique plus faibles. Une différence essentielle entre les matériaux céramiques et les métaux est que les céramiques ne présentent généralement pas de déformation plastique, mais présentent une défaillance après une déformation élastique lorsque la limite de charge est dépassée. Les phases MAX ($M_{n+1}AX_n$) en sont un exemple qui démontre la déformation plastique lorsqu'une charge est appliquée.

Le [Tableau 1](#) donne un aperçu des propriétés des matériaux céramiques. La dernière colonne énumère les propriétés de l'acier de construction à des fins de comparaison. Les propriétés énumérées dans le [Tableau 1](#) peuvent varier en fonction de la transformation et des matériaux bruts utilisés.

NOTE Les matériaux polymériques ne sont pas inclus en raison de leurs propriétés de matériaux distinctement différentes.

Tableau 1 — Aperçu des propriétés typiques des pièces en céramique par rapport à l'acier de construction^{[3][4]}

Propriétés des matériaux	Matériau					
	Porcelaine	Oxyde d'aluminium (>99 %)	Oxyde de zirconium (3Y-TZP) ^a	Nitrure de silicium (SSiN) ^b	Carbure de silicium (SSiC) ^c	Acier de construction St 37
Densité en g/cm ³	2,2	3,9	5...6	3,2...3,3	3,08...3,15	7,8
Dureté (Vickers) en GPa	5...9	13...23	10...14	14...18	22...34	2...4
Résistance à la flexion en MPa	50	300...450	500...1 000	700...1 000	260...500	340...470
Module de Young en GPa	60	300	200...210	290...330	350...450	200...210
Ténacité à la rupture en MPa m ^{1/2}	–	4...5,5	5,8...10,5	5...8,5	3,0...4,8	200
Dilatation thermique en 10 ⁻⁶ K ⁻¹	4...7	7...8	10...12,5	2,5...3,5	4,0...4,8	10...12
^a 3Y-TZP – oxyde de zirconium stabilisé tétraagonalement avec une teneur molaire de 3 % d'oxyde d'yttrium. ^b SiN - nitrure de silicium. ^c SiC - carbure de silicium.						

La [Figure 2](#) à la [Figure 5](#) illustrent la relation entre les différentes propriétés des céramiques sélectionnées par rapport à celles des métaux. De cette manière, les caractéristiques des matériaux céramiques peuvent être rapidement comparées entre elles et avec celles des métaux^{[3][4]}.

Les valeurs indiquées dans la littérature utilisées de la [Figure 2](#) à la [Figure 5](#) ont été déterminées à l'aide d'éprouvettes normalisées issues de procédés de fabrication conventionnels et ont à fournir des comparaisons de lignes directrices générales. Dans la FA, il existe différentes catégories de procédés de fabrication et formulations de matériaux, ce qui signifie que les valeurs des propriétés peuvent varier considérablement. La porosité est particulièrement affectée par ce phénomène. Par exemple, la densité et la résistance à la flexion diminuent lorsque la porosité augmente. Pour cette raison, il est conseillé que le chercheur recherche les valeurs spécifiques pour leur système céramique.