
Fabrication additive — Conception —
Partie 2:
Fusion laser sur lit de poudre
polymère

Additive manufacturing — Design —

Part 2: Laser-based powder bed fusion of polymers
iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/ASTM 52911-2:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ee82f9e9-cffd-4dc1-ab94-b4f6cc63162d/iso-astm-52911-2-2019>



Numéro de référence
ISO/ASTM 52911-2:2019(F)

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/ASTM 52911-2:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ee82f9e9-cffd-4dc1-ab94-b4f6cc63162d/iso-astm-52911-2-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ee82f9e9-cffd-4dc1-ab94-b4f6cc63162d/iso-astm-52911-2-2019>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO/ASTM International 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 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
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

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

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
Introduction.....	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et termes abrégés	2
4.1 Symboles.....	2
4.2 Termes abrégés.....	3
5 Caractéristiques des procédés de fusion sur lit de poudre (PBF)	3
5.1 Généralités.....	3
5.2 Dimension des pièces.....	3
5.3 Bénéfices à prendre en compte en ce qui concerne le procédé PBF.....	4
5.4 Limites à prendre en compte en ce qui concerne le procédé PBF.....	4
5.5 Efficacité sur le plan des coûts et des délais.....	5
5.6 Contraintes d'éléments (îlots, porte-à-faux, effet d'escalier).....	5
5.6.1 Généralités.....	5
5.6.2 Îlots.....	5
5.6.3 Porte-à-faux.....	6
5.6.4 Effet d'escalier.....	6
5.7 Exactitude dimensionnelle, de forme et de position.....	7
5.8 Qualité des données, résolution, représentation.....	7
6 Lignes directrices de conception pour la fusion laser sur lit de poudre polymère (LB-PBF/P)	8
6.1 Généralités.....	8
6.2 Caractéristiques des matériaux et structures.....	8
6.3 Anisotropie des caractéristiques du matériau.....	9
6.4 Orientation de fabrication, positionnement et disposition.....	10
6.4.1 Généralités.....	10
6.4.2 Revêtement en poudre.....	10
6.4.3 Emplacement de la pièce dans la chambre de fabrication.....	10
6.4.4 Surfrittage.....	10
6.4.5 Emballage efficace des pièces dans la chambre de fabrication.....	11
6.5 Rugosité de surface.....	11
6.6 Finition post-production.....	11
6.7 Considérations relatives à la conception.....	12
6.7.1 Autorisation pour l'élimination des poudres.....	12
6.7.2 Réduction du gauchissement.....	12
6.7.3 Épaisseur de paroi.....	13
6.7.4 Écartements, cylindres et trous.....	13
6.7.5 Structures en treillis.....	13
6.7.6 Canaux d'écoulement des fluides.....	13
6.7.7 Ressorts et éléments élastiques.....	14
6.7.8 Éléments de raccordement et pièces de fixation.....	15
6.7.9 Assemblages statiques.....	15
6.7.10 Assemblages mobiles.....	16
6.7.11 Paliers.....	16
6.7.12 Joints.....	17
6.7.13 Marquages intégrés.....	17
6.7.14 Découpe et jointage.....	18
6.8 Exemple d'application.....	18
6.8.1 Voiture miniature fonctionnelle avec ressort intégré.....	18
6.8.2 Pince robotisée.....	19

7	Considération générale de conception	21
	Bibliographie	22

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/ASTM 52911-2:2019
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ee82f9e9-cffd-4dc1-ab94-b4f6cc63162d/iso-astm-52911-2-2019>

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 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, 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 l'ASTM F 42, *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 de normes ISO/ASTM sur la fabrication additive.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 52911 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 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

La fusion laser sur lit de poudre polymère (LB-PBF/P) décrit un procédé de fabrication additive (FA) et offre une alternative de fabrication supplémentaire aux procédés établis. La LB-PBF/P offre la possibilité de réduire les délais et coûts de fabrication, tout en élargissant les fonctionnalités de la pièce. Les praticiens connaissent les points forts et les points faibles des procédés de fabrication traditionnels utilisés depuis longtemps, tels que les procédés de coupe, d'assemblage et de formage (par exemple, par usinage, soudage ou moulage par injection) et leur accordent l'attention nécessaire au stade de la conception et du choix du procédé de fabrication. Dans le cas de la LB-PBF/P et de la FA en général, les ingénieurs de conception et de fabrication ne disposent que d'une réserve d'expérience limitée. Sans les limites associées aux procédés classiques, l'utilisation d'une LB-PBF/P offre un grand degré de liberté aux concepteurs et aux fabricants, et ceci exige une compréhension des possibilités et des limites du procédé.

La série ISO 52911 fournit des lignes directrices pour différentes technologies de fusion sur lit de poudre (PBF). Il est prévu que la série comprenne l'ISO 52911-1 sur la fusion laser sur lit de poudre métallique (LB-PBF/M), le présent document sur la LB-PBF/P et l'ISO 52911-3¹⁾ sur la fusion sur lit de poudre métallique par faisceau d'électrons (EB-PBF/M). Les [Articles 1 à 5](#), où des informations générales comprenant la terminologie et le procédé PBF sont fournies sont similaires pour toute la série. Les articles suivants portent sur la technologie spécifique.

Le présent document est basé sur le VDI 3405-3:2015^[8]. Il fournit un support aux utilisateurs de la technologie, tels que les ingénieurs de conception et de fabrication, lors de la conception de pièces qui nécessitent d'être fabriquées au moyen de la LB-PBF/P. Cela aidera les praticiens à explorer les avantages de la LB-PBF/P et à reconnaître les limites liées au procédé lors de la conception des pièces. Il s'appuie également sur l'ISO/ASTM 52910^[4] pour étendre les exigences, les lignes directrices et les recommandations pour la conception FA pour intégrer le procédé PBF.

[ISO/ASTM 52911-2:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ee82f9e9-cffd-4dc1-ab94-b4f6cc63162d/iso-astm-52911-2-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ee82f9e9-cffd-4dc1-ab94-b4f6cc63162d/iso-astm-52911-2-2019>

1) En préparation.

Fabrication additive — Conception —

Partie 2: Fusion laser sur lit de poudre polymère

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les caractéristiques de la fusion laser sur lit de poudre polymère (LB-PBF/P) et fournit des recommandations détaillées de conception.

Certains des principes fondamentaux sont également applicables à d'autres procédés de fabrication additive (FA), sous réserve que les caractéristiques spécifiques à un procédé soient dûment prises en compte.

Le présent document fournit également un État de l'Art des lignes directrices de conception associées à l'utilisation d'une fusion sur lit de poudre (PBF), en compilant des connaissances pertinentes sur ce procédé et en élargissant le domaine d'application de l'ISO/ASTM 52910.

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* — Principes essentiels et vocabulaire

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et 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 <http://www.electropedia.org/>

3.1 surface de contre-dépouille

D

(sous-)zone où la projection du vecteur normal \vec{n} sur l'axe z est négative

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

3.2 angle de la contre-dépouille

δ

angle entre le plan de la plateforme de fabrication et la *surface de contre-dépouille* ([3.1](#))

Note 1 à l'article: La valeur est comprise entre 0° (parallèlement à la plateforme de fabrication) et 90° (perpendiculairement à la plateforme de fabrication).

Note 2 à l'article: Voir la [Figure 1](#).

3.3 surface de dépouille

U
(sous-)zone où la projection du vecteur normal \vec{n} sur l'axe z est positive

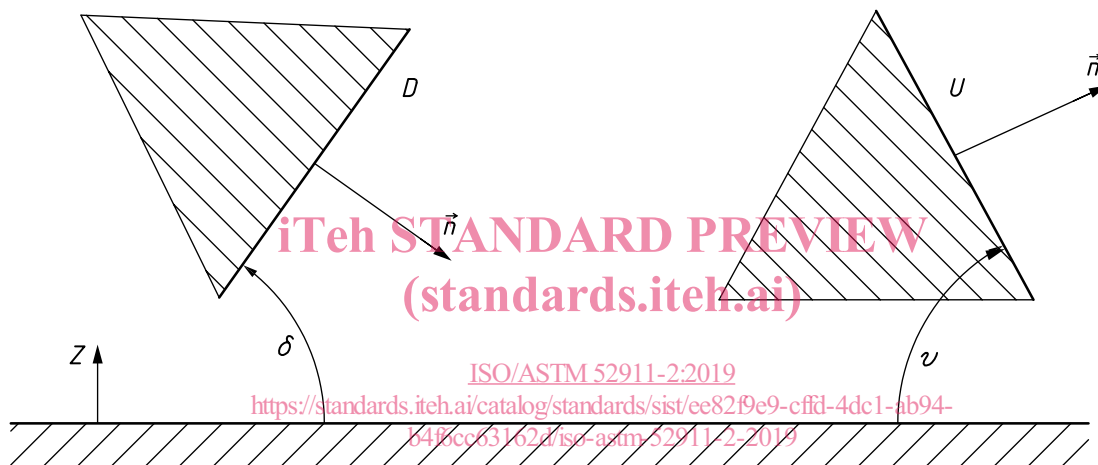
Note 1 à l'article: Voir la [Figure 1](#).

3.4 angle de la dépouille

v
angle entre le plan de la plateforme de fabrication et la *surface de dépouille* ([3.3](#))

Note 1 à l'article: La valeur est comprise entre 0° (parallèlement à la plateforme de fabrication) et 90° (perpendiculairement à la plateforme de fabrication).

Note 2 à l'article: Voir la [Figure 1](#).



Légende

z sens de fabrication

SOURCE VDI 3405-3:2015.

Figure 1 — Surfaces de dépouille et de contre-dépouille U et D , angles de la dépouille et de la contre-dépouille v et δ , vecteur normal \vec{n}

4 Symboles et termes abrégés

4.1 Symboles

Les symboles donnés dans le [Tableau 1](#) sont utilisés dans le présent document.

Tableau 1 — Symboles

Symbole	Désignation	Unité
a	porte-à-faux	mm
D	surface de contre-dépouille	mm ²
l	îlot	mm ²
\vec{n}	vecteur normal	—

Tableau 1 (suite)

Symbole	Désignation	Unité
P	pièce	mm ³
Ra	rugosité moyenne	μm
Rz	rugosité de surface moyenne	μm
U	surface de dépouille	mm ²
δ	angle de la contre-dépouille	°
ν	angle de la dépouille	°

4.2 Termes abrégés

Les termes abrégés suivants sont utilisés dans le présent document.

FA	fabrication additive
AMF	format de fichier de la fabrication additive
CT	tomographie informatisée
DICOM	imagerie et communications numériques en médecine
CAO	Conception assistée par ordinateur
EB-PBF/M	fusion sur lit de poudre métallique par faisceau d'électrons
LB-PBF	fusion laser sur lit de poudre
LB-PBF/M	fusion laser sur lit de poudre métallique (également appelée, par exemple, fusion par faisceau laser, fusion sélective par laser)
LB-PBF/P	fusion laser sur lit de poudre polymère (également appelée, par exemple, fusion par faisceau laser, fusion sélective par laser)
IRM	imagerie par résonance magnétique
PBF	fusion sur lit de poudre
STL	format de stéréolithographie ou langue de pavage de surface
3MF	format de fabrication 3D

5 Caractéristiques des procédés de fusion sur lit de poudre (PBF)

5.1 Généralités

Les caractéristiques spécifiques du procédé de fabrication utilisé pour optimiser la conception d'une pièce doivent être prises en compte. Des exemples de caractéristiques de procédés FA qui nécessitent d'être pris en compte pendant les phases de conception et de planification du procédé sont énumérés de [5.2](#) à [5.8](#).

5.2 Dimension des pièces

La dimension des pièces est limitée par la surface de travail/le volume de travail de la machine PBF. L'apparition de fissures et la déformation causée par les contraintes thermiques limitent également la dimension de pièce maximale. Un autre facteur pratique important qui limite la dimension maximale de la pièce est le coût de production, qui est directement lié à la dimension et au volume de la pièce.

Le coût de production peut être réduit en choisissant un emplacement de la pièce et une orientation de la fabrication qui permettent d'imbriquer le plus de pièces possible. De même, le coût de la poudre nécessaire pour remplir le lit au volume requis (profondeur de la pièce × surface du lit) peut être pris en considération. Les règles en matière de réutilisation des poudres affectent ce coût de manière significative. Si aucune réutilisation n'est admise, alors la totalité de la poudre est mise au rebut quel que soit le volume solidifié.

5.3 Bénéfices à prendre en compte en ce qui concerne le procédé PBF

Les procédés PBF peuvent être avantageux pour la fabrication de pièces lorsque les points suivants sont pertinents:

- Les pièces peuvent être fabriquées à leur forme quasi-définitive (c'est-à-dire, près de la forme et de la dimension à l'état fini), sans autres outils de post-traitement, en une seule étape du procédé.
- Les degrés de liberté de conception des pièces sont généralement élevés. Les limites des procédés de fabrication classiques sont généralement inexistantes, par exemple, pour:
 - l'accessibilité de l'outil, et
 - les dégagements.
- Une grande diversité de géométries complexes peut être produite, telles que:
 - géométries de forme libre, par exemple, structures organiques^[17];
 - structures à topologie optimisée,
 - structures de remplissage, par exemple, structures en nid d'abeille, sandwich et maille.
- Le degré de complexité de la pièce est très peu lié aux coûts de production.
- Les procédés d'assemblage et de jointage peuvent être réduits par une fabrication monobloc.
- Les caractéristiques globales de la pièce peuvent être configurées de manière sélective en ajustant localement les paramètres de procédé.
- Réduction des délais de production de la pièce.

5.4 Limites à prendre en compte en ce qui concerne le procédé PBF

Certains inconvénients habituellement associés aux procédés de FA doivent être pris en compte pendant la conception du produit.

- Un rétrécissement, des contraintes résiduelles et une déformation peuvent apparaître en raison de différences locales de températures.
- La qualité de surface des pièces FA est généralement influencée par la technique de fabrication en couches (effet d'escalier). Un post-traitement peut être exigé, en fonction de l'application.
- Les écarts par rapport aux tolérances de forme, de dimension et de position des pièces doivent être pris en compte. Une tolérance d'usinage doit donc être fournie pour la finition post-production. Les tolérances géométriques spécifiées peuvent être obtenues par un post-traitement de précision.
- Des caractéristiques anisotropes surviennent généralement sous l'effet de la fabrication en couches et doivent être prises en compte pendant la planification du procédé.
- Tous les matériaux disponibles pour les procédés traditionnels ne sont pas actuellement adaptés aux procédés PBF.

- Les propriétés des matériaux peuvent s'écarter des valeurs attendues connues d'autres technologies telles que le moulage par injection et la coulée. Les propriétés des matériaux peuvent être influencées de manière significative par les réglages et le contrôle du procédé.

5.5 Efficacité sur le plan des coûts et des délais

Sous réserve que la géométrie autorise la disposition d'une pièce dans l'espace de fabrication de telle manière qu'elle puisse être fabriquée de la manière la plus rentable possible, différents critères d'optimisation sont disponibles en fonction du nombre d'unités planifiées.

- Dans le cas d'une production ponctuelle, la hauteur est le facteur le plus influent sur les coûts de fabrication. Les pièces doivent être orientées de manière à réduire autant que possible la hauteur de fabrication, sous réserve que la géométrie permette une telle orientation.
- Si l'objectif est de fabriquer un plus grand nombre d'unités, l'espace de fabrication doit alors être utilisé le plus efficacement possible. Sous réserve que la géométrie de la pièce permette une telle orientation, des stratégies de réorientation et d'imbrication doivent être utilisées pour augmenter autant que possible l'espace de fabrication disponible.
- La poudre qui demeure dans le système après une fabrication peut être réutilisée dans certains cas. La réutilisation dépend de l'application, du matériau et des exigences spécifiques. Les changements de poudre peuvent être inefficaces et chronophages. Bien qu'ils soient nécessaires en cas de changement de type de matériau, les poudres provenant de fabrications d'un matériau identique peuvent être réutilisées. Il est important de noter, cependant, qu'un recyclage de poudre peut affecter la granulométrie de la poudre, qui à son tour impacte les caractéristiques de la pièce finie. Le nombre de recyclages possibles d'une poudre dépend du fabricant de la machine et du matériau.

5.6 Contraintes d'éléments (îlots, porte-à-faux, effet d'escalier)

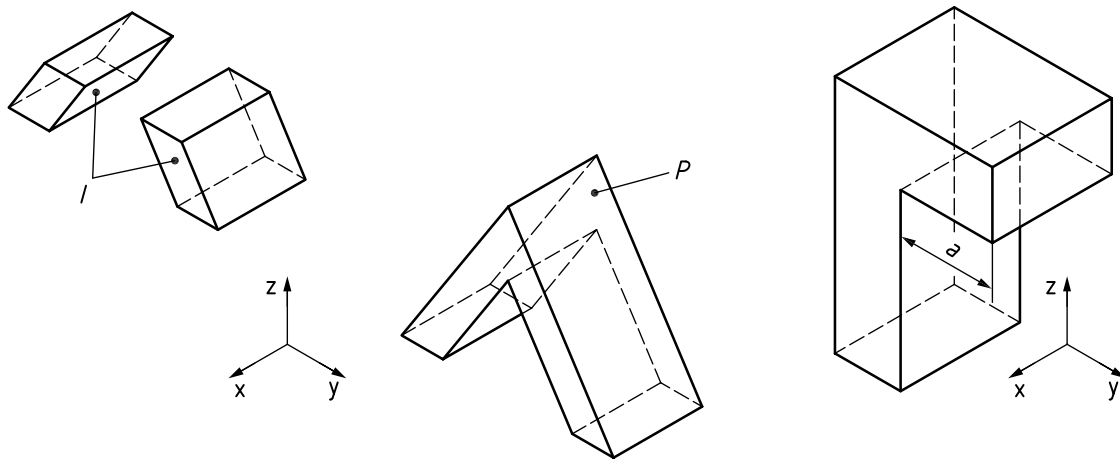
5.6.1 Généralités

Puisque les pièces FA sont fabriquées par couches successives, une séparation des éléments peut se produire à une étape donnée de la fabrication. Cela dépend de la géométrie de la pièce. Les situations de 5.6.2 à 5.6.4 doivent être considérées comme critiques à cet égard (le niveau de criticité dépend de la technologie PBF concernée).

5.6.2 Îlots

Les îlots (*I*) sont des éléments qui se relient entre eux pour former une pièce (*P*) uniquement à un stade ultérieur du procédé de fabrication. Le mode d'établissement de cette liaison doit être pris en compte pendant la phase de conception. Les pièces qui sont stables du point de vue de leur conception globale peuvent être instables à un certain stade du procédé de fabrication (voir la [Figure 2](#), à gauche et au centre).

NOTE Dans certaines circonstances, les îlots ne sont pas protégés des dommages mécaniques survenant pendant le procédé d'application de la poudre. Cela peut conduire à une déformation des îlots.



SOURCE VDI 3405-3:2015.

Figure 2 — Îlots l (à gauche) et porte-à-faux a (à droite) pendant la fabrication d'une pièce P dans l'axe z

5.6.3 Porte-à-faux

Les zones ayant un angle de porte-à-faux de 0° produisent un porte-à-faux d'une longueur a (voir la [Figure 2](#), à droite). Les faibles porte-à-faux ne nécessitent aucune géométrie supplémentaire sous forme de structures de support. Dans de tels cas, la zone de projection est autoportante pendant la fabrication. Les valeurs admissibles de a dépendent du procédé PBF spécifique, du matériau et des paramètres de procédé utilisés.

ISO/ASTM 52911-2:2019

5.6.4 Effet d'escalier <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ee82f9e9-cffd-4dc1-ab94-b4f6cc63162d/iso-astm-52911-2-2019>

Du fait de la fabrication en couches, la géométrie 3D de la pièce est convertie en image 2,5D avant la production, par échelons graduels dans le sens de fabrication. L'erreur associée à l'écart entre cette image 2,5D et la géométrie d'origine est décrite comme effet d'escalier. Son ampleur dépend largement de l'épaisseur de la couche (voir la [Figure 3](#)).