

NORME
INTERNATIONALE

ISO/ASTM
52939

Première édition
2023-12

**Fabrication additive pour la
construction — Principes de
qualification — Éléments de structure
et d'infrastructure**

*Additive manufacturing for construction — Qualification principles
— Structural and infrastructure elements*

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

[ISO/ASTM 52939:2023](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/983f8a18-8d3f-4108-bb74-8979f5d069cc/iso-astm-52939-2023)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/983f8a18-8d3f-4108-bb74-8979f5d069cc/iso-astm-52939-2023>



Numéro de référence
ISO/ASTM 52939:2023(F)

© ISO/ASTM International 2023

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

[ISO/ASTM 52939:2023](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/983f8a18-8d3f-4108-bb74-8979f5d069cc/iso-astm-52939-2023)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/983f8a18-8d3f-4108-bb74-8979f5d069cc/iso-astm-52939-2023>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO/ASTM International 2023

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
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Constructibilité, évaluation et examen	4
4.1 Généralités	4
4.2 Évaluation de la faisabilité de CA	4
4.3 Plan de validation	6
5 Infrastructure de la cellule de CA	6
6 Qualification du procédé de construction additive	8
6.1 Étapes du processus de qualité dans le procédé de construction additive	8
6.2 Préparation des données	10
6.3 Exigences relatives à la gestion des matériaux	11
6.4 Pré-traitement du système	12
6.5 Conduite du procédé de fabrication	13
6.6 Post-traitement (par défaut) du système	15
6.7 Qualification du procédé	15
7 Assurance qualité	16
7.1 Généralités	16
7.2 Exigences relatives au personnel	17
7.3 Documentation et suivi des étapes du procédé	17
7.4 Contrôles qualité	18
7.5 Livraison et logistique	20
Annexe A (informative) Informations supplémentaires	21
Annexe B (informative) Exemples d'assurance qualité de CA	30
Annexe C (informative) Exemples d'étapes d'assurance qualité concernant la conduite du procédé de fabrication	36
Annexe D (informative) Exemples de procédés spécifiques	38
Bibliographie	40

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 document 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 propriété.

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/iso/fr/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le Comité technique l'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 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 tout retour d'information ou toute question sur le présent document soit adressé à l'organisme national de normalisation de l'utilisateur. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse <https://www.iso.org/fr/members.html>.

Introduction

Le secteur de la construction fait face à un nombre croissant de défis: pénurie de main d'œuvre, délais toujours plus courts accordés aux projets, allongement des délais d'exécution, utilisation des matériaux en quantité excessive, quantités importantes de déchets et impacts néfastes de l'empreinte carbone. En outre, du point de vue du marché, la demande mondiale de construction augmente, notamment en raison de la crise du logement et de la multiplication des projets d'infrastructure (qu'il s'agisse de nouvelles structures ou du maintien de structures existantes). La construction additive (CA), également connue sous le nom de fabrication additive pour la construction (FAC) ou d'impression pour la construction en 3D (3DCP) renferme le potentiel nécessaire pour répondre de manière directe à ces problématiques.

Dernièrement, la CA a réalisé des progrès considérables. Les éléments imprimés pourraient s'avérer plus durables, plus viables, plus écologiques, moins chers (en masse) et plus rapides à mettre en œuvre que les méthodes de construction traditionnelles. Cependant, en l'absence de normes de CA, toute approbation, certification et atténuation des risques est impossible.

Le présent document a vocation à mettre en évidence les exigences nécessaires sur lesquelles s'appuie la production et la distribution de structures créées par fabrication additive de grande qualité (bâtiments résidentiels ou infrastructures) dans le secteur de la construction.

Les étapes importantes du procédé de CA sont spécifiées. Ces étapes seront contrôlées et surveillées afin d'assurer la qualité des structures imprimées utilisées sur site ou hors site. Le présent document n'a pas vocation à traiter spécifiquement d'une technologie ou d'un matériau donné; par conséquent, les sous-procédés à appliquer dépendent de l'approche retenue. Il convient cependant de noter qu'il est recommandé de faire approuver le ou les éléments imprimés par un ingénieur certifié localement, et faire en sorte que le ou les éléments imprimés respectent les spécifications et exigences locales et régionales.

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

[ISO/ASTM 52939:2023](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/983f8a18-8d3f-4108-bb74-8979f5d069cc/iso-astm-52939-2023)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/983f8a18-8d3f-4108-bb74-8979f5d069cc/iso-astm-52939-2023>

Fabrication additive pour la construction — Principes de qualification — Éléments de structure et d'infrastructure

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences d'assurance qualité applicables à la construction additive (CA) pour des projets dans le domaine du bâtiment et de la construction, et impliquant des techniques de fabrication additive. Les exigences ne dépendent pas du ou des matériaux ni de la catégorie de procédé utilisés.

Le présent document ne s'applique pas aux métaux.

Le présent document spécifie les critères pour les procédés de construction additive, les caractéristiques significatives pour la qualité et les facteurs liés aux opérations du système de CA. Il spécifie en outre les activités et séquences mises en place au sein d'une cellule de CA (site de construction additive) et d'un projet de CA.

Le présent document s'applique à l'ensemble des technologies de fabrication additive dans le domaine du bâtiment et de la construction (avec ou sans charge), concernant des éléments de construction structurels et d'infrastructure de nature résidentielle ou commerciale; il développe une approche orientée processus.

Le présent document ne couvre pas les aspects relatifs à l'environnement, à la santé et à la sécurité applicables au réglage de l'installation d'impression, à la manipulation des matériaux, au fonctionnement de l'équipement robotisé, et à l'emballage de l'équipement et/ou des éléments pour livraison; cependant, les recommandations du fournisseur de matériaux, les instructions d'utilisation des solutions robotiques et les exigences locales et régionales le prescrivent.

Le présent document ne traite pas de l'approbation de conception, de la caractérisation des propriétés des matériaux ni des essais.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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*

ISO/ASTM 52950, *Fabrication additive — Principes généraux — Vue d'ensemble des échanges de données*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans 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 **fabrication additive pour la construction** **FAC**

procédé permettant d'assembler des matériaux pour fabriquer des éléments/composants structurels et non structurels et des systèmes à partir de données de modèle 3D, généralement par dépôt de matériaux couche par couche, par opposition aux méthodes de fabrication soustractive et formative

3.2 **construction additive** **CA**

terme décrivant l'ensemble des disciplines et des savoirs pertinents pour le segment du secteur de la construction qui s'appuie sur des catégories de procédé de fabrication additive

Note 1 à l'article: L'utilisation de ces technologies couvre tous les secteurs de la construction pertinentes, p. ex. les projets immobiliers de grande ampleur, la création de bâtiments complets et d'éléments de bâtiments, les infrastructures civiles et la réparation des sinistres.

Note 2 à l'article: CA décrit toutes les disciplines des connaissances pertinentes, par exemple: architecture, ingénierie, ingénierie structurelle, ingénierie des matériaux, opérateur de robot, gestion de projet, gestion de la construction, gestion des installations, etc.

Note 3 à l'article: Les autres termes suivants sont utilisés de manière interchangeable: Construction numérique (CN), Construction 4.0, Fabrication avancée dans la construction (FAC), Impression 3D pour la construction (C3DP) et Impression pour la construction en 3D (3DCP).

Note 4 à l'article: Les matériaux de construction sont notamment:

- des variations du ciment, par exemple du béton et du mortier ou des pâtes polymères modifiées,
- des matériaux composites.

Note 5 à l'article: Une forte automatisation basée sur des robots, un degré d'intervention humaine réduit au cours de la construction, et une quantité minimale de déchets grâce aux systèmes de distribution du matériau en fonction des besoins sont des caractéristiques intrinsèques de la présente définition.

Note 6 à l'article: Au moment la rédaction du présent document, en 2023, le domaine de la CA évolue rapidement; il est très probable que de nouveaux matériaux et de nouvelles méthodes soient inclus à cette définition à l'avenir.

Note 7 à l'article: La CA peut se faire sur site ou en dehors (p. ex. production modulaire en usine).

3.3 **dépôt de couche** application d'une seule couche

3.4 **cellule de CA**

solution d'impression déployée sur site pour l'impression in situ (comprend les systèmes de mélange et de placement des matériaux)

3.5 **dispositif de dépôt des matériaux**

dispositif contrôlé numériquement, intégrant des mécanismes de mélange et de distribution de matériaux bruts, de liants et d'additifs; dépose le mélange à partir d'une simulation numérique saisie dans les programmes électroniques du dispositif sans nécessité d'intervention humaine ou de recours à des moules

3.6 **production physique**

intégralité physique de l'espace de fabrication, des éléments situés dans l'espace de fabrication et des structures et équipements de support liés à la production situés dans l'espace de construction du système

3.7**cycle de production virtuel**

simulation numérique/par ordinateur du cycle de *production physique* (3.7) (fichier d'impression)

EXEMPLE Simulation d'impression.

3.8**cycle de production à blanc**

procédé consistant à exécuter le programme de fabrication sans matériaux pour vérifier la trajectoire d'outil de la première couche et d'autres points critiques du programme; peut faire partie du procédé d'étalonnage

3.9**procédé de construction**

opérations de CA numériques et physiques, de la configuration du robot à l'achèvement de l'élément imprimé final, y compris les essais d'assurance qualité et la vérification

3.10**mécanique, électricité et plomberie****MEP**

systèmes requis pour assurer le chauffage, la ventilation et l'air conditionné, l'alimentation en électricité et les communications, l'alimentation en eau et l'évacuation des eaux usées

3.11**élément imprimé**

composant de construction imprimé en 3D, qu'il soit construit sur site (in situ) ou non, et qui est intégré à un bâtiment ou à une structure en tant que composant d'une infrastructure complète

EXEMPLE Murs, colonnes, poutres, etc.

3.12**imprimabilité**

capacité du matériau à être aisément transmis à la tête d'impression, traité par celle-ci (p. ex., *extrudabilité* (3.13), et à assurer la stabilité de la forme de la couche, le respect des exigences de *constructivité* (3.14) et, le cas échéant, la *pompabilité* (3.15)

3.13**extrudabilité**

capacité du matériau à être éjecté en douceur via la buse d'impression sans provoquer de blocage des conduits ou de dommages significatifs de la qualité du matériau

3.14**constructibilité**

capacité d'une impression à préserver la stabilité verticale et latérale sous des charges croissantes provenant des couches superposées/successives avec une déformation contrôlée

3.15**pompabilité**

critère relatif au matériau pâteux, lié à l'extrusion et à la maniabilité du béton; il importe de s'assurer que les matériaux affichent en continu un comportement d'écoulement aisé, depuis la source jusqu'au dispositif/à la buse de dépôt du matériau d'impression

Note 1 à l'article: La pompabilité garantit que les matériaux puissent être pompés aisément et en continu, sans générer d'obstructions à l'intérieur du système de distribution.

4 Constructibilité, évaluation et examen

4.1 Généralités

Les exigences applicables à l'élément de CA doit être spécifiée et exécutée avant la préparation des données. Les résultats doivent être transférés dans une séquence définie avec les spécifications de production associées y compris les exigences spécifiques en matière de contrôle de la qualité (pour les éléments porteurs et non porteurs). Il est recommandé que toute surveillance et/ou gestion des actifs soient basées sur des normes/codes/réglementations applicables localement qui pourraient s'appuyer sur une analyse de vérification numérique.

Si la demande de production est incomplète (par exemple, dessin technique manquant) ou si une mise en œuvre initiale s'accompagne de restrictions, le client doit être prévenu afin de corriger le problème.

La [Figure 1](#) illustre les différentes étapes de vérification de la faisabilité ainsi que la phase de qualification, pré-requis à la production en série au moyen d'une CA.

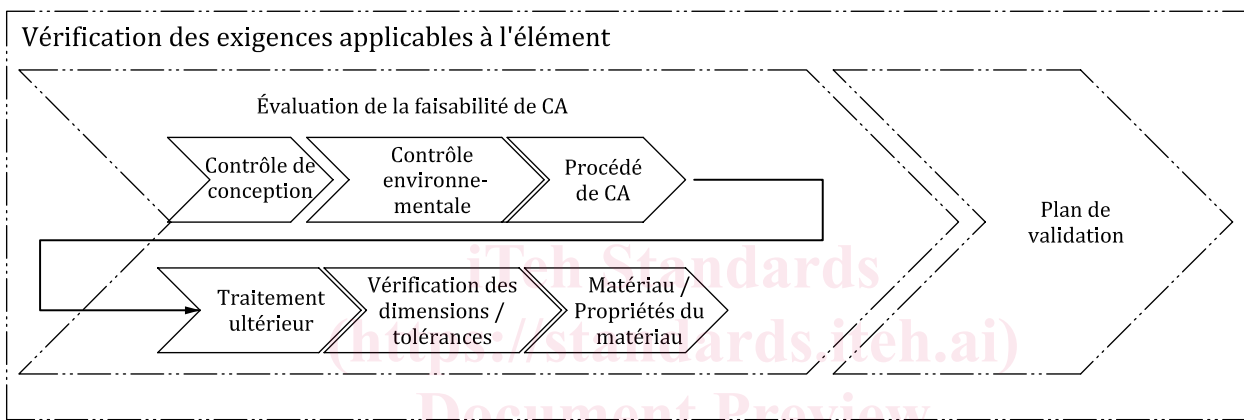


Figure 1 — Étapes de vérification des exigences applicables à l'élément de CA

ISO/ASTM 52939:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/983f8a18-8d3f-4108-bb74-8979f5d069cc/iso-astm-52939-2023>

4.2 Évaluation de la faisabilité de CA

La faisabilité de CA, y compris les exigences applicables aux éléments de CA, doit être évaluée par des personnes compétentes (p. ex. experts en technologie ou personnes formées, ayant obtenu les permis idoines de la part des autorités compétentes localement, classifiées et enregistrées conformément aux instructions par les autorités compétentes et ayant conçu et réalisé avec succès un nombre donné d'éléments imprimés en 3D (p. ex. 5) avec le même procédé de construction, et présentant des dimensions et un niveau de complexité comparable).

La compétence de production nécessaire n'est disponible que dans l'environnement de CA direct. Il est important d'inclure toutes les exigences relatives aux éléments dans la vérification de la faisabilité. L'évaluation doit comporter les étapes suivantes:

- a) **Contrôle de conception:** il convient de consulter les directives de conception pertinentes pour le procédé afin d'évaluer la faisabilité CA de la conception et la conformité aux réglementations nationales, régionales et locales. De plus, des restrictions de CA applicables au procédé, par exemple des exigences d'épaisseur des parois et de renforcement, doivent également être prises en considération.
- b) **Contrôle environnemental:** du point de vue de l'environnement, les étapes de sélection des matériaux et de conception sont considérées comme essentielles pour assurer la durabilité d'un élément construit tout au long de son cycle de vie. Il importe de réaliser une évaluation de durabilité du matériau de construction ou du produit de la construction lui-même, conformément à l'ISO 21930 et à l'ISO 14001, sur la base d'une analyse du cycle de vie (ACV) complète et d'assurer un suivi de macro-indicateurs, aussi bien pour un usage interne que pour élaborer des déclarations

environnementales de produit (DEP) pour les produits de construction après validation. Les contrôles et études de l'environnement doivent être réalisés dans le respect de l'ensemble des exigences nationales, régionales et locales.

Les indicateurs de base à utiliser sont:

- le potentiel de réchauffement global (émissions en équivalent CO₂);
- les émissions de gaz à effet (GES) de serre ayant un impact potentiel sur le climat.

Autres indicateurs utiles admis:

- Potentiel de pollution: ressources d'eau douce susceptibles d'avoir un impact sur l'épuisement des ressources d'eau douce (lorsque la composition du mélange pâteux ne contient aucun matériau métallique, l'utilisation l'eau de mer ou d'eau traitée peut être envisagée dans le cadre du procédé, en fonction de l'utilisation de l'élément imprimé et de ses interactions avec/de son exposition aux utilisateurs finals).
- Potentiel d'épuisement du carburant fossile (équivalent pétrole): consommation de matériaux bruts non renouvelables et d'énergie primaire non renouvelable.
- Potentiel de déplétion ozonique (CFC-11 dans l'air): dégagement de gaz ayant un impact potentiel sur la couche d'ozone stratosphérique.
- Quantité de déchets générée par type: volume total de déchets dangereux et non dangereux ayant un impact potentiel sur la génération de déchets à éliminer.
- Potentiel d'acidification (SO₂ dans l'air) - impact potentiel sur l'acidification des terrains et des ressources en eau.
- Potentiel d'eutrophisation de l'eau douce (P dans l'eau douce): impact potentiel de l'eutrophisation des étendues d'eau.

c) **Procédé de CA:** il est également nécessaire que des ingénieurs qualifiés vérifient si l'élément souhaité et les propriétés à atteindre sont faisables par CA à partir des paramètres du procédé déjà qualifiés, ou si des adaptations sont nécessaires pour assurer la faisabilité. Les risques liés à la catégorie de procédé propre à la CA doivent également être évalués par des ingénieurs qualifiés afin de respecter les exigences dédiées aux composants. Voir procédés et matériaux spécifiques dans le [Tableau A.1](#).

d) **Traitement ultérieur:** dans le cas où une autre étape de fabrication (semi-)automatique intervient, il est nécessaire de vérifier si la conception est appropriée pour cela, si aucun auxiliaire ne peut être utilisé. Si des procédés soustractifs ou de finition sont ensuite appliqués afin d'obtenir les tolérances de fabrication requises, les détails de conception correspondants doivent être fournis dès le traitement des données, si nécessaire.

e) **Vérification des dimensions/tolérances:** les tolérances spécifiées dans la conception doivent être réalisables dans le cadre du procédé de CA sélectionné. Le post-traitement doit être envisagé en amont du procédé de CA.

EXEMPLE 1 Toutes considérations spéciales relatives au renforcement et/ou à l'intégration MEP, au démarrage, à l'arrêt ou à l'omission dans le cadre du procédé de CA.

f) **Matériau/propriétés du matériau:** La faisabilité de CA doit être envisagée, au-delà de la technologie sélectionnée, selon le matériau, la composition du mélange et sur l'ensemble du procédé de CA. Les propriétés du matériau spécifiées doivent être incorporées ici. Il convient de respecter les tolérances normatives locales en matière de résistance au feu, de résistance à la charge/à la compression, de tension, de rétrécissement, de fluage, de résistance aux effets de l'environnement – tels que l'humidité, les cycles de gel et les rayonnements ultraviolets (UV), etc.

EXEMPLE 2 Matériaux qui présentent différentes contraintes de CA.

Une évaluation individuelle de l'élément doit ensuite être menée afin de définir les mesures d'assurance qualité nécessaires. Sur la base de la méthode d'assurance qualité déjà mise en œuvre ainsi que de l'analyse des risques pour l'application concernée, il est nécessaire de vérifier si des mesures distinctes pour le contrôle qualité des éléments sont nécessaires (voir [7.4](#)).

4.3 Plan de validation

Les exigences de l'environnement direct de fabrication comprennent le plan de qualification de l'élément de série. La condition préalable est la qualification du matériau pour un procédé de CA défini. Un plan de qualification doit être formulé pour les éléments et les méthodes d'essai associées selon les étapes de travail et/ou de mode opératoire pertinentes spécifiées par le client. La production du ou des éléments fait l'objet d'un processus de validation par étapes (voir [A.2](#) ou ISO/ASTM 52901). Chaque phase est terminée avec succès lorsqu'elle est signée par le personnel compétent.

L'enregistrement méthodique des exigences relatives aux éléments peut dériver de l'ISO/ASTM 52901 par exemple. Cela permet de déduire les validations pouvant être nécessaires au-delà du présent document.

5 Infrastructure de la cellule de CA

Les exigences suivantes concernent l'infrastructure de la cellule de CA:

a) **Équipement:** Il convient que les vérifications et la gestion de l'environnement, de la santé et de la sécurité (HSE) respectent les normes légales locales et régionales existantes sur site et hors site, pour l'ensemble des équipements. Quelques exemples sont énumérés ci-dessous:

- EN 12001;
- EN 12629-1;
- ISO 4413;
- ISO 4144;
- ISO 12100;
- ISO 13849-1;
- ISO 13849-2;
- ISO 13850;
- ISO 13854;
- ISO 13857;
- ISO 14118;
- ISO 14119;
- ISO 14120;
- EN 60204-1;
- ISO 10218-1;
- ISO 10218-2;
- EN 60204-1.

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

[ISO/ASTM 52939:2023](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/983f8a18-8d3f-4108-bb74-8979f5d069cc/iso-astm-52939-2023>

- b) **Sécurité au travail:** un environnement de travail sûr, tenant compte des réglementations légales, doit être garanti. Cela inclut la formation du personnel concernant les mesures et l'équipement de sécurité au travail.

Il convient que les utilisateurs du présent document se réfèrent aux lignes directrices de gestion de la sécurité appropriées ainsi qu'à la législation et aux réglementations locales afin de bien comprendre les exigences spécifiques applicables.

Ci-après une synthèse (non exhaustive) des aspects de gestion de la sécurité qu'il convient de prendre en compte dans le cadre de la CA.

- 1) La législation sur la sécurité oblige les opérateurs à rendre compte de la protection de leurs salariés, du public et de l'environnement dans le cadre de leurs activités industrielles. Même si la législation et les réglementations varient dans chaque pays ou région, les principes de base de la gestion de la sécurité sont communs et il convient qu'ils constituent une pratique courante pour toutes les entreprises de CA.
- 2) Les opérateurs doivent posséder des dispositions de gestion de la sécurité identifiant les personnes responsables au sein de leur organisation. Les dispositions en matière de gestion de la sécurité détaillent également les procédés en place pour assurer la sécurité de toutes les opérations de l'entreprise, en tenant compte de tous les phénomènes dangereux associés à la CA. Il convient que les dispositions en matière de gestion de la sécurité soient proportionnées au risque et à la complexité de l'opération.
- 3) L'objectif principal de la gestion de la sécurité est d'identifier tous les phénomènes dangereux prévisibles et de réduire les risques à un niveau tolérable et aussi faible que raisonnablement praticable ou réalisable. Les mesures de contrôle des risques sont utilisées à cette fin de diverses manières dans le cadre de la discipline de sécurité.
- 4) L'opérateur d'un équipement de CA robotisé ainsi que des machines et matériaux associés, doit envisager et assurer la sécurité de l'ensemble des aspects de leur fonctionnement, notamment, mais sans s'y limiter:
 - l'emplacement d'impression (en usine ou sur site);
 - les machines utilisées et les interfaces entre elles;
 - les dispositions et de réponse en cas d'accident, y compris en matière de premiers secours;
 - la signalétique de sécurité;
 - la manipulation et le stockage des matériaux en sécurité;
 - les exigences de sécurité sur le site de construction et les EPI exigés;
 - les avertissements et mises en garde liés au procédé;
 - l'installation et l'utilisation de barrières et de protections;
 - une formation de sécurité adéquate et la fourniture d'informations de sécurité adéquates;
 - une discipline et une culture de la sécurité;
 - une obligation de diligence vis-à-vis des travailleurs;
 - le signalement des quasi-accidents;
 - les leçons tirées de l'expérience;
 - la prise en compte de la sécurité du public;
 - la conservation de registres auditables des décisions de sécurité.

c) **Installation du système:** le système de CA doit être installé par du personnel qualifié (voir 7.2). Des éléments de preuve des conditions d'installation doivent être conservés (p. ex. rapport de service, rapport d'acceptation final, rapports sur les modifications apportées au système, désignation du type de machine mentionnant la version des composants logiciels et, le cas échéant, la version des composants matériels, numéro d'identification de la machine, etc.). L'ensemble du personnel chargé de livrer le produit doit être considéré comme disposant d'une formation adéquate, et les rapports sont gérés et conservés dans le cadre du système de management de la qualité (SMQ) avec enregistrement des étapes du procédé.

d) **Maintenance:** toutes les activités de maintenance doivent être achevées et documentées.

L'installation et la maintenance de la machine désignent les systèmes de contrôle du procédé ainsi que les dispositifs liés aux systèmes et à leurs pièces [p. ex., stockage des matériaux, mélangeur, pompe, système UV (le cas échéant)].

e) **Environnement de production:** les spécifications du fabricant du système concernant les conditions ambiantes et les conditions d'installation doivent être respectées.

f) **Infrastructure informatique:** pour configurer l'installation de CA et assurer la sécurité de l'environnement de serveur, les dispositions suivantes en matière de matériel informatique et de systèmes de sécurité, d'archivage, etc. (p. ex. conformément à l'ISO/IEC 27001) indiquées ci-dessous (liste non exhaustive) doivent être appliquées:

- capacité de charge et planéité au niveau du sol, absence de vibration;
- disponibilité complète, distance minimale avec les systèmes et équipements environnants;
- température, humidité, luminosité et composition particulière de l'air contrôlés ou admissibles;
- propreté de l'environnement de CA;
- journalisation des conditions d'installation et de la qualification du système de production;
- journaux consignants l'ensemble des autres facteurs influant sur la qualité et concernant le fonctionnement d'un système.

Le système de gestion de la CA garantit que les étapes correctes se déroulent dans la séquence qualifiée avec les paramètres correspondants. Cela inclut la planification de l'utilisation des capacités de la machine et du stock de matériau à un niveau minimum spécifié. Un système de planification des goulets d'étranglement doit être démontré.

6 Qualification du procédé de construction additive

6.1 Étapes du processus de qualité dans le procédé de construction additive

Il est recommandé qu'un système de management de la qualité (p. ex. ISO 9001) soit en place lorsque le fabricant d'élément de CA applique le présent document. De surcroît, le présent document peut être utilisé pour créer un système de management de la qualité pertinent spécifiquement pour les technologies de CA.

Afin d'assurer une qualité élevée au sein d'une cellule de CA, la chaîne complète (voir 6.2 à 6.7) du procédé de production et les exigences en matière de personnel (voir 7.2) doivent être prises en compte.

Les domaines pertinents de la chaîne de procédés sont présentés à la Figure 2. Ils comprennent:

- Assurance qualité: mesures préventives garantissant la qualité requise pour l'élément sur l'ensemble de la chaîne de procédé (voir l'approche d'assurance qualité de la CA proposée dans l'Annexe B);
- Préparation des données: traitement numérique précédant la construction additive (A.3);