
**Essais non destructifs — Moyens utilisant
les rayonnements — Tomographie
informatisée —**

**Partie 1:
Principes**

iTeh STANDARD PREVIEW

*Non-destructive testing — Radiation methods — Computed tomography —
Part 1: Principles*
(standards.iteh.ai)

ISO 15708-1:2002

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002>



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 15708-1:2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002>

© ISO 2002

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.ch
Web www.iso.ch

Imprimé en Suisse

Sommaire

	Page
Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Préambule	1
3 Symboles et abréviations	1
4 Exigences	2
5 Appareillage	9
6 Fondement théorique	15
7 Interprétation des résultats	26
8 Fidélité et biais	44
Annexe A (normative) Glossaire	45
Bibliographie	65

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 15708-1:2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002>

Avant-propos

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

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 3.

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

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments de la présente partie de l'ISO 15708 peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 15708-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 135, *Essais non destructifs*, sous-comité SC 5, *Moyens utilisant les rayonnements*.

L'ISO 15708 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Essais non destructifs — Moyens utilisant les rayonnements — Tomographie informatisée* :

- ITeH STANDARD PREVIEW**
(standards.iteh.ai)
[ISO 15708-1:2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002)
- *Partie 1: Principes* <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002>
 - *Partie 2: Pratiques d'examen*

L'annexe A constitue un élément normatif de la présente partie de l'ISO 15708.

Introduction

La présente partie de l'ISO 15708 est une introduction à la théorie et à l'utilisation de la tomographie informatisée (TI). Elle débute par un tour d'horizon destiné aux lecteurs ayant une formation technique générale. Les articles suivants, plus techniques, exposent les bases physiques et mathématiques de la technologie TI, les exigences du matériel et les programmes informatiques compris dans l'appareillage de tomographie, ainsi que les mesures fondamentales de performance du système.

La présente partie de l'ISO 15708 comprend également un glossaire complet (avec des points de discussion) des termes propres à la TI, ainsi qu'une liste étendue de références renvoyant à des publications plus techniques sur le sujet. L'intérêt primordial de la présente partie de l'ISO 15708 est d'établir des définitions consensuelles pour les mesures fondamentales des caractéristiques de performance de la TI, grâce auxquelles les acheteurs et les fournisseurs de systèmes et de services dans ce domaine pourront communiquer sans ambiguïté par référence à une norme reconnue. Quelques équations particulièrement pertinentes sont aussi fournies pour les mesures de la performance du système de TI par rapport à des paramètres de système fondamentaux.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 15708-1:2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 15708-1:2002

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002>

Essais non destructifs — Moyens utilisant les rayonnements — Tomographie informatisée —

Partie 1: Principes

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 15708 donne des lignes directrices concernant les principes généraux de la tomographie informatisée (TI) au rayonnement X applicables à l'imagerie industrielle, et définit les termes qui s'y rapportent. Elle présente également des lignes directrices relatives aux paramètres de performance de la technique TI, avec des explications quant à la façon dont ces paramètres se rapportent aux spécifications du système TI.

2 Préambule

La TI est une technique radiographique qui utilise essentiellement la même terminologie que celle des autres techniques au rayonnement X. Un certain nombre de termes ayant néanmoins des significations ou des implications particulières à la TI; ils apparaissent avec une explication en annexe A. Dans la présente partie de l'ISO 15708, le terme «rayonnement X» est utilisé pour désigner un rayonnement électromagnétique pénétrant qui peut toutefois être produit soit par des rayons X, soit par des rayons gamma.

3 Symboles et abréviations

- BW largeur du faisceau
- CDD finesse de contraste-dose
- TI tomographie informatisée
- CAT tomographie axiale informatisée
- DR radiographie numérique
- ERF fonction de réponse de bord
- LSF fonction de frange applicable aux lignes
- FTM fonction de transfert par modulation
- NDE évaluation non destructive
- PDF fonction de distribution de probabilités
- PSF fonction de frange applicable aux points

4 Exigences

4.1 Présentation succincte de la TI

La TI est une technique radiographique d'examen idéale pour localiser et évaluer la dimension d'éléments volumétriques et plans en trois dimensions. Compte tenu de la pénétrabilité relativement bonne des rayons X et du fait de la sensibilité des surfaces de captation à la chimie atomique, la TI permet la caractérisation physique et, dans une mesure plus limitée, chimique non destructives de la structure interne de matières. En outre, du fait que la méthode est basée sur l'emploi de rayons X, elle s'applique aussi bien aux éprouvettes métalliques et non métalliques, aux matières solides et fibreuses, aux objets de surface lisse et irrégulière. Utilisées conjointement à d'autres méthodes d'évaluation non destructive (NDE), notamment les ultrasons, les données TI permettent d'obtenir des évaluations de l'intégrité de la matière qui ne peuvent être obtenues à l'heure actuelle de manière non destructive par aucun autre moyen.

La présente partie de l'ISO 15708 est destinée à apporter une réponse à deux aspects généraux qui intéressent les utilisateurs d'appareillages industriels de TI:

- a) la nécessité de disposer d'un document didactique traitant des principes généraux de la TI au rayonnement X, applicables à l'imagerie industrielle;
- b) la nécessité de disposer d'un ensemble cohérent de définitions des paramètres de performance de la TI, y compris la façon dont ces paramètres se rapportent aux spécifications du système TI.

Pour les utilisateurs et acheteurs potentiels, de même que pour les spécialistes de l'examen TI, la présente partie de l'ISO 15708 sera une source d'informations utile pour déterminer si la méthode TI convient dans le cas de problèmes d'examen spécifiques, pour prédire la performance du système TI dans des situations nouvelles et pour mettre au point et prescrire de nouveaux modes de balayage.

La présente partie de l'ISO 15708 ne spécifie pas d'objets d'examen ni de modes opératoires pour comparer les performances relatives de différents systèmes TI, et n'aborde pas non plus les questions techniques de l'examen TI, telles que les meilleurs paramètres de balayage à choisir, les modes opératoires de balayage recommandés, l'analyse de données d'image pour extraire l'information densitométrique ou l'établissement de critères d'acceptation ou de refus applicables à un objet nouveau.

Les pratiques et les méthodes normalisées ne sont pas traitées dans la présente partie de l'ISO 15708. Le lecteur est néanmoins rendu attentif au fait que les techniques d'examen sont en général spécifiques aux parties et aux applications et que, en raison de la nouveauté de l'exploitation de la technique TI pour un usage industriel, aucun consensus ne s'est encore dégagé dans de nombreux cas. La situation est encore compliquée par le fait que l'appareillage et les performances de la technique TI progressent et s'améliorent toujours significativement. En conséquence, plutôt que d'exposer des modes opératoires d'examens génériques, il a été jugé préférable de traiter de manière approfondie les principes par lesquels des méthodes d'examen peuvent être mises au point ou des méthodes existantes révisées.

L'avantage principal de la TI est qu'elle fournit des images densitométriques (c'est-à-dire densité et géométrie) de coupes minces d'un objet. Du fait de l'absence de bruit structurel émis par des détails extérieurs au plan de coupe à examiner, les images sont plus faciles à interpréter que les images radiographiques conventionnelles. Un utilisateur sans expérience préalable de la technique peut apprendre très rapidement à lire des données TI (souvent dès la première utilisation) du fait que les images TI correspondent plus étroitement à la manière dont l'esprit humain visualise des structures en trois dimensions que ne le fait la radiographie conventionnelle par projection. Étant numériques, les images peuvent en plus être améliorées, analysées, comprimées, archivées, entrées comme données dans des calculs de performance, et comparées avec des données numériques d'autres modalités d'évaluation non destructive, ou transmises à d'autres sites pour visualisation à distance. En outre, les images TI présentent une meilleure discrimination au contraste sur des zones compactes. Cette fonctionnalité n'a aucune analogie classique. La discrimination au contraste supérieure à 0,1 % à des niveaux de confiance de trois sigmas sur des zones aussi infimes qu'un cinquième de un pour cent de la dimension de l'objet concerné est courante.

Avec un étalonnage correct, l'examen des dimensions et la détermination de la masse volumique peuvent également être effectués avec une très grande exactitude. Concernant les dimensions, avec pratiquement tous les systèmes TI, une résolution de pixels d'environ 1 pour 1 000 est possible, et des algorithmes métrologiques, faisant appel à une connaissance *a priori*, peuvent souvent mesurer des dimensions d'environ un dixième de pixel avec une exactitude de trois sigmas. Les valeurs d'atténuation peuvent également être reliées avec exactitude aux densités des matières. Si l'on sait que les détails de l'image sont des éléments homogènes purs, les valeurs de densité peuvent dans certains cas suffire pour identifier les matières. Si l'on ne dispose d'aucune information *a priori*, les densités TI ne peuvent être utilisées pour identifier sans ambiguïté des matières inconnues, étant donné que des composés d'une diversité presque infinie peuvent être visualisés et donner une atténuation qui pourra prendre n'importe quelle valeur. Dans ce cas, la sensibilité exceptionnelle de la TI à la densité peut toujours être utilisée pour déterminer la morphologie de l'objet et mettre en évidence des irrégularités de structure.

Dans certains cas, les balayages TI à double source d'énergie (DE) peuvent aider à identifier des composants inconnus. Avec les balayages DE, on obtient des images exactes de la densité électronique et du nombre atomique, permettant de mieux caractériser les matières. Pour des matières connues, ces indications supplémentaires peuvent permettre d'améliorer la visibilité, la rapidité du balayage ou la caractérisation. Pour des matières inconnues, ces indications supplémentaires peuvent souvent permettre d'établir de bonnes approximations de la composition probable d'un objet donné.

La TI, en tant que technique numérique avec des données convertibles à d'autres formats, s'est avérée intéressante pour les applications industrielles du prototypage rapide, de la rétro-ingénierie et de la métrologie. Le prototypage rapide peut être accompli à l'aide d'une classe de techniques de fabrication où les pièces sont fabriquées selon des modèles informatiques dans une variété de matériaux. La stéréolithographie est l'une des techniques qui peut utiliser les informations des coupes minces de la TI pour produire des pièces exactes en polymère. À partir des coupes multiples de la TI, les images bidimensionnelles peuvent être assemblées pour produire des représentations tridimensionnelles complètes des composants balayés. Les données entrées dans le système stéréolithographique sont des informations décrivant le volume complet ou simplement le tracé de son contour, les pièces que le système peut ainsi générer étant des pièces en polymère pleines ou creuses. Le choix des données sera fondé sur les techniques d'usinage rapide utilisées dans le domaine d'application particulier.

Avec les méthodes de rétro-ingénierie assistées par TI, les modèles anciens conçus sans programme de conception assistée par ordinateur (CAO) peuvent accéder aux nombreuses techniques d'usinage rapide disponibles actuellement. Dans le cas de la rétro-ingénierie comme dans le cas du prototypage rapide, les images bidimensionnelles peuvent être assemblées pour produire des représentations tridimensionnelles complètes de composants balayés. De nombreux programmes permettent de transformer des données numériques obtenues par TI en nuage de points – ensemble de points dans un espace tridimensionnel représentant la surface de la pièce – ou par des contours CAO, qui peuvent être utilisés pour reconstituer la pièce. Les contours CAO produits à partir des données TI ont été déterminés avec une précision de quelques millièmes de pouces. Ainsi les données TI sont semblables à des données dimensionnelles obtenues à l'aide de différentes machines de mesure, mais elles présentent plusieurs avantages:

- a) les données TI sont acquises sans contact de la pièce;
- b) les données TI fournissent non seulement des informations sur la surface, mais aussi des mesures exactes de la structure interne;
- c) les images TI peuvent être formées sur n'importe quel objet sans programmation particulière, quelle que soit la complexité de la structure.

La métrologie des données TI, c'est-à-dire l'évaluation des mesurages dimensionnels, peut être réalisée par différentes techniques. Des exemples de techniques courantes sont la mesure directe des données d'images TI, la mesure du nuage de points, ou son enregistrement avec le modèle CAO pour produire une carte de variance tridimensionnelle. Les écarts entre les données d'examen et les données de conception sont évalués en fonction des tolérances nécessaires pour l'application.

Comme n'importe quelle autre méthode, la TI présente des limites. La plus fondamentale est que les objets à examiner doivent être suffisamment petits pour pouvoir être placés dans le système de manipulation TI à disposition et doivent être radiométriquement transparents aux sources de rayons X employées par le système particulier. En outre, les algorithmes de reconstruction TI requièrent que l'appareil de balayage relève des données sur 180° complets. Dans certains cas, la dimension de l'objet ou l'opacité limite la quantité de données qui peuvent

être relevées. S'il existe des méthodes permettant de corriger l'effet de données incomplètes sur des images utiles du point de vue du diagnostic, ces images sont nécessairement moins bonnes que les images obtenues à partir d'ensembles complets de données. Pour cette raison, il convient de considérer des ensembles de données complets et la transparence radiométrique comme des exigences. La technologie TI actuelle peut traiter des plages d'atténuation (rapport entre l'atténuation maximale et l'atténuation minimale) de quatre ordres de grandeur environ. Cette information, conjointement à une estimation de la corde la pire à travers un objet nouveau et à la valeur connue de l'énergie moyenne du flux de rayons X, peut permettre d'établir la faisabilité du balayage d'un objet n'ayant pas subi d'examen préalable.

Une autre limitation éventuelle de l'imagerie TI tient à la présence possible d'artefacts dans les données. Dans ce contexte, un artefact est un élément de l'image qui ne reflète pas exactement la structure vraie de l'objet examiné. Étant donné qu'ils ne correspondent pas à la réalité, ces artefacts empêchent, d'un point de vue quantitatif, l'utilisateur d'extraire d'une image des données sur la densité, la dimension ou autre. Ainsi, comme pour n'importe quelle autre technique, l'utilisateur doit apprendre à reconnaître et savoir ne pas tenir compte des artefacts courants. Certains artefacts d'images, comme le rayonnement diffusé et le bruit électronique, peuvent être réduits ou éliminés avec la TI par des pratiques d'ingénierie améliorées. D'autres artefacts d'images, comme les stries de bord et les effets de volume partiels, sont inhérents à la méthodologie. Certains artefacts présentent un peu de ces deux caractéristiques. Un bon exemple en est l'artefact dit «de courbure», qui est dû aussi bien à la diffusion du rayonnement (qui peut en principe être largement éliminée) qu'à la polychromaticité du flux de rayons X (qui est inhérente à l'utilisation de sources de rayonnement de freinage).

Des examens complets de la pièce exigent des systèmes de stockage de données de grande capacité ou des techniques d'affichage de pointe, ou les deux, et un outil pour aider l'opérateur à traiter la somme considérable de données générées. On peut utiliser à cette fin un matériel graphique représentant l'état actuel de la technique et un logiciel d'examen automatique. Ce type de logiciel d'acceptation et de refus automatique dépend toutefois de l'objet et, à ce jour, il n'en a été développé et employé que dans un nombre limité de cas.

4.2 Description générale de la TI (standards.iteh.ai)

La TI est une technique d'examen radiographique qui a recours à un ordinateur pour reconstruire une image à partir d'un plan de coupe (tranche) à travers un objet. L'image qui en résulte est une représentation quantitative du coefficient d'atténuation linéique de rayons X, μ , à chaque point du plan. Le coefficient d'atténuation linéique caractérise la vitesse locale instantanée à laquelle les rayons X disparaissent du rayonnement incident lors de son passage à travers l'objet (voir article 6), par diffusion ou absorption, durant le balayage. L'atténuation des rayons X lorsqu'ils interagissent avec la matière est un phénomène bien étudié^[20] qui résulte de plusieurs mécanismes d'interaction distincts. Pour les systèmes TI industriels avec une énergie maximale de rayons X inférieure à quelques MeV, tous les effets, hormis quelques effets mineurs, peuvent être décrits comme la combinaison de deux interactions: l'absorption photoélectrique et la diffusion Compton^[20]. L'interaction photoélectrique dépend fortement du nombre atomique et de la densité du milieu absorbant; la diffusion Compton est avant tout fonction de la densité électronique de la matière. L'atténuation photoélectrique domine à des énergies plus faibles et devient plus importante avec un nombre atomique plus élevé, alors que la diffusion Compton domine à des énergies plus élevées et devient plus importante à un nombre atomique plus faible. Dans certains cas particuliers, ces corrélations peuvent être exploitées.

Une propriété particulièrement importante du coefficient total d'atténuation linéique est qu'il est proportionnel à la densité du matériau, qui est évidemment une propriété physique fondamentale de toute matière. Le fait que les images TI soient proportionnelles à la densité constitue peut-être l'intérêt principal de cette technologie et la raison pour laquelle on croit souvent que les données d'images représentent la distribution de la densité du matériau dans l'objet examiné. Il s'agit là pourtant d'une dangereuse simplification. Le coefficient d'atténuation linéique est également lié à l'énergie, qui est une fonction de la composition de la matière. Cette caractéristique du coefficient d'atténuation peut ou non (selon les matières et les énergies des rayons X) être plus importante que la dépendance fondamentale par rapport à la densité. Dans certains cas, cet effet peut présenter l'inconvénient de masquer les différences de densité dans une image TI. Dans d'autres, il peut présenter l'avantage de renforcer le contraste entre des matières différentes de densité analogue.

La différence fondamentale entre la TI et la radiographie conventionnelle est représentée à la Figure 1. Dans la radiographie conventionnelle, l'information sur un plan de coupe «P» est projetée sur une ligne unique «A-A», alors qu'avec l'image TI associée, l'information spatiale complète est conservée. L'information TI procède par une multitude d'observations successives systématiques à différents angles de visualisation, et une image est ensuite

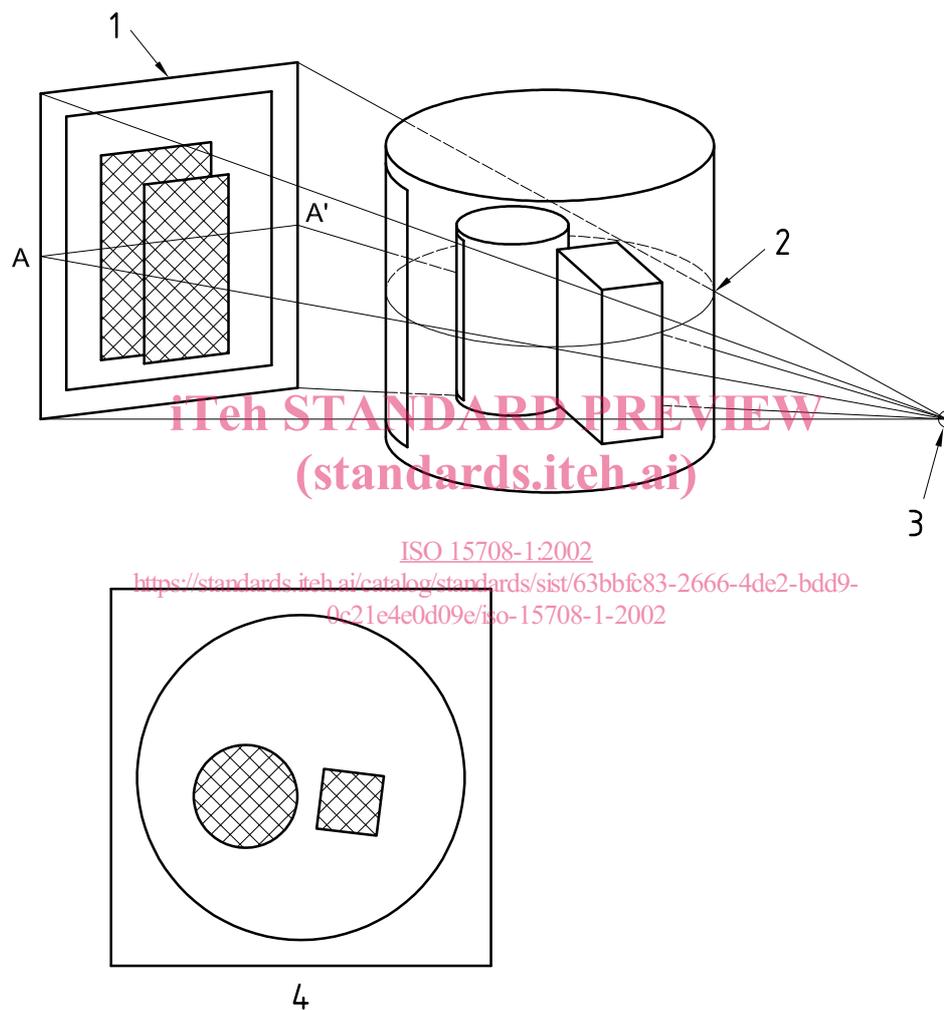
reconstituée par ordinateur. L'image est générée par une série d'éléments d'images discrets ou pixels. Une image TI type peut être composée d'une matrice de valeurs d'atténuation de 512 par 512 ou de 1024 par 1024 pour un seul plan de coupe à travers un échantillon. La carte bidimensionnelle du plan de coupe qui en résulte est une image de l'objet examiné. Ainsi, grâce à la TI, on peut opérer une coupe à travers un objet exposé, examiner ses caractéristiques internes, enregistrer les différentes atténuations, réaliser des observations dimensionnelles et identifier toute anomalie éventuelle de la matière ou de la structure. En outre, une image tridimensionnelle de l'intérieur peut être réalisée en superposant et en comparant des coupes TI adjacentes d'un objet exposé.

On voit aisément sur la Figure 1 que, si une caractéristique interne est décelée dans la radiographie conventionnelle par projection, on ne peut en connaître la position sur la ligne de visibilité directe entre la source et le film. Une meilleure indication de la position peut être obtenue avec d'autres radiographies prises à partir de plusieurs angles de vue et par triangulation. La triangulation est une forme manuelle élémentaire de reconstruction tomographique. Fondamentalement, une image TI est le résultat d'une triangulation de chaque point dans le plan à partir de nombreuses directions différentes.

Étant donné le volume de données qui doit être recueilli et traité avec la TI, les balayages sont d'ordinaire effectués par tranches successives. Un ensemble de mesures de l'atténuation des rayons X est effectué le long d'une série de parcours projetés à différents emplacements sur la périphérie de l'article examiné. La première partie de la Figure 2 illustre une série de mesures effectuées sur un objet contenant deux disques d'atténuation de diamètres différents. La mesure d'atténuation des rayons X réalisée selon un angle particulier, ϕ_1 , est traitée comme une observation unique. Elle est indiquée par $f(x')$, où x' représente la position linéaire de la mesure. La seconde partie de la Figure 2 représente les mesures prises à plusieurs autres angles $f(x')$. Chaque mesure d'atténuation relevée sur ces vues est numérisée et stockée dans un ordinateur, où elles sont ensuite traitées (par exemple normalisées et corrigées) et filtrées (convolutionnées), comme examiné à l'article 6. L'étape suivante du traitement de l'image est la rétroprojection des images, ce qui est également représenté à la seconde partie de la Figure 2. Cette opération consiste à rétroprojeter chaque vue le long d'une ligne correspondant à la direction dans laquelle les données de projection ont été recueillies. Lorsque suffisamment de vues sont employées, les rétroprojections forment une reconstruction fidèle de l'objet. Même dans cet exemple simple, avec quatre projections seulement, la concentration des rayons rétrojetés commence déjà à restituer la dimension et la position relatives des caractéristiques de l'objet original.

[ISO 15708-1:2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002)

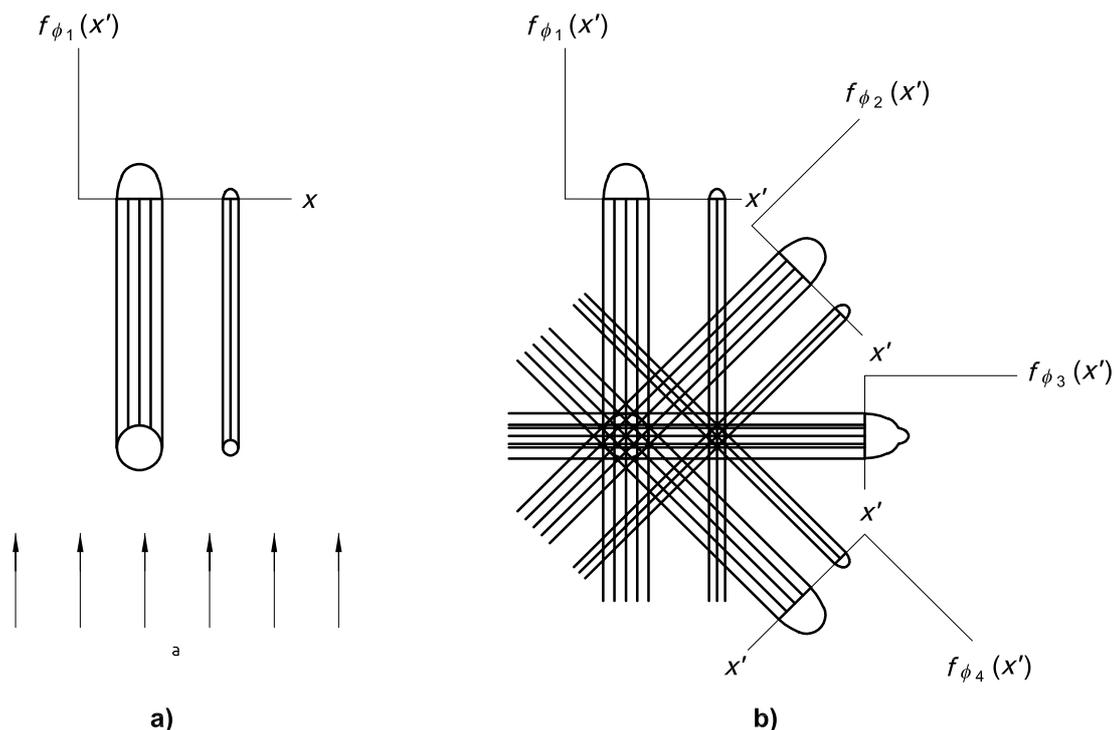
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002>



Légende

- 1 Radiogramme
- 2 Coupe (plan P)
- 3 Source de rayons X
- 4 Vue TI de la coupe (plan P)

Figure 1 — Comparaison d'une image TI et d'un radiogramme conventionnel



a Rayons X incidents.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Figure 2 — Illustrations schématiques du fonctionnement de la TI

4.3 Capacités du système

ISO 15708-1:2002

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c21e4e0d09e/iso-15708-1-2002>

4.3.1 Généralités

La capacité d'un système TI à représenter des coupes minces d'un objet en font un puissant complément de l'examen radiographique conventionnel. Comme dans tout système d'imagerie, un système TI ne peut pas reproduire exactement l'objet examiné. La mesure dans laquelle une image TI reproduit l'objet est largement fonction des influences concurrentes de la résolution spatiale, du bruit statistique et des artefacts du système d'imagerie. Chacun de ces aspects est examiné brièvement ci-après. Un examen plus complet figure dans les articles 7 et 8.

4.3.2 Résolution spatiale

L'imagerie radiographique est possible du fait que des matériaux différents ont des coefficients d'atténuation différents du rayonnement X. Dans la tomographie informatisée, ces coefficients sont représentés sur un moniteur sous la forme de dégradés de gris semblables à une image photographique ou en fausse couleur. La fidélité d'une image TI dépend d'un certain nombre de facteurs de performance du système dont l'un des plus importants est la résolution spatiale. La résolution spatiale caractérise l'aptitude d'un système TI à représenter des détails structurels fins ou à localiser des caractéristiques infimes par rapport à un point de référence.

La résolution spatiale est généralement quantifiée en termes de la distance minimale à laquelle deux points rapprochés peuvent être distingués comme des entités séparées. La valeur limitative de la résolution spatiale est déterminée par la conception et la construction du système, par la quantité de données et par le programme d'échantillonnage utilisé pour examiner l'objet à examiner. La précision du système mécanique détermine l'exactitude avec laquelle les vues peuvent être rétroprojetées, et l'optique des rayons X détermine la finesse de résolution des détails. Le nombre de vues et le nombre de mesures d'absorption simple par vue déterminent la taille de la matrice de reconstruction qui peut être fidèlement reconstituée. Pour améliorer la résolution spatiale dans une image, on peut réduire la taille des pixels jusqu'à ce que la limite inhérente établie par ces contraintes soit atteinte. Au-delà de cette limite, la diminution de la taille des pixels n'améliorera pas la résolution spatiale et

risque en revanche de produire des artefacts dans l'image. Il peut néanmoins s'avérer utile, dans certaines circonstances, de procéder à la reconstruction avec des pixels plus petits que ce qui devrait normalement être le cas. Pour effectuer des contrôles dimensionnels, par exemple, travailler avec une image sur laquelle la taille des pixels est quatre fois plus petite que l'espacement de l'échantillon peut présenter un avantage significatif.

Une autre technique, permettant d'améliorer la résolution spatiale dans des régions spécifiques de grands objets, est connue sous l'appellation de tomographie de région d'intérêt (ROI)^{[59]. [68]}. Cette tomographie reconstruit une région convexe dans un objet, grâce à un dispositif de projection sur une maille d'échantillonnage spécifiée créant une résolution supérieure dans cette zone réduite.

On peut aussi voir qu'une image TI donnée est équivalente à la pénombre (convolution) de la représentation idéale de l'objet avec une fonction bidimensionnelle lisse de type gaussien, appelée fonction de frange applicable aux points (PSF). La spécification de la PSF d'un système est une caractérisation importante d'un système TI, qui peut être calculée assez exactement à partir des paramètres du système TI. L'effet de la fonction de frange est une perte de netteté des caractéristiques de l'image TI. Le phénomène prend deux formes:

- a) les objets petits apparaissent plus grands;
- b) les limites précises apparaissent floues.

La perte de netteté de l'image d'objets petits diminue la résolution, car les images de deux petits objets rapprochés, de type point, se superposent et risquent d'être assimilées à une caractéristique unique. La perte de netteté de l'image de bords précis réduit la perceptibilité des frontières entre différents matériaux pour la même raison. Cet effet est particulièrement important à l'interface entre des matériaux où le risque de désolidarisation est une préoccupation primordiale. Ainsi, la connaissance de la fonction de frange d'un système TI est fondamentale pour la spécification quantitative de la résolution maximale et du contraste qu'il est possible d'obtenir avec le système en question.

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

NOTE Il convient de relever, car il s'agit d'une source d'erreurs d'interprétation courante, que la plus petite caractéristique susceptible d'être détectée dans une image TI n'est pas la même que la plus petite caractéristique susceptible d'être distinguée en résolution. Une caractéristique sensiblement plus petite qu'un pixel peut avoir une telle incidence sur le pixel auquel elle correspond que celui-ci sera visiblement contrasté par rapport aux pixels adjacents. Ce phénomène, appelé «effet de volume partiel», est examiné à l'article 6. La différence entre la résolution d'une petite caractéristique et la résolution de sa sous-structure revêt une importance fondamentale pour la TI.

4.3.3 Bruit statistique

Toutes les images de certains types d'interactions physiques présentent un bruit statistique intrinsèque. En radiographie, ce bruit provient de deux sources:

- a) les variations statistiques intrinsèques dues au nombre fini de photons mesuré;
- b) le type particulier d'instrumentation et de traitement utilisés.

En radiographie conventionnelle, le film sous-exposé est un bon exemple. Même sur une région d'exposition très uniforme, un examen très attentif du film montre que seul un faible nombre de grains par unité de surface a été exposé. Le choix d'un film à grains grossiers ou à grains fins illustre le bruit induit par l'instrumentation utilisée. Si les films sont exposés pour produire une image avec une densité donnée, le film à grains fins présentera un bruit statistique inférieur à celui du film à grains grossiers. En TI, le bruit statistique dans l'image apparaît comme une variation aléatoire surajoutée au nombre TI de l'objet. Si une caractéristique est petite, il peut être difficile de déterminer son niveau de gris médian et de le distinguer du matériau environnant. Ainsi, le bruit statistique limite la discrimination au contraste dans une image TI.

Le bruit statistique est inévitable, mais son ampleur par rapport au signal désiré peut être réduite dans une certaine mesure en cherchant à augmenter le signal désiré. Ceci peut être réalisé en augmentant la durée de balayage, la sortie de la source de rayons X ou la dimension de celle-ci et des détecteurs. En général, le fait d'augmenter la taille de la source et du détecteur a néanmoins pour effet de réduire la résolution spatiale. Le compromis entre la résolution spatiale et le bruit statistique est une caractéristique fondamentale de la TI.

4.3.4 Artefacts

Un artefact est une caractéristique d'une image qui ne correspond pas à une caractéristique physique de l'objet exposé. Tous les systèmes d'imagerie, que ce soit en TI ou en radiographie conventionnelle, présentent des artefacts. Les exemples d'artefacts courants en radiographie conventionnelle sont notamment des taches de sous-développement sur un film, ou une diffusion produite par des objets de haute densité dans le champ des rayons X. Dans les deux cas, un opérateur expérimenté saura qualitativement ne pas tenir compte de la présence de ces artefacts.

Les artefacts TI se manifestent de diverses manières, étant donné que l'image TI est calculée à partir d'une série de mesures. Un artefact courant, causé par le durcissement du faisceau, se manifeste sous forme de «tuilage», c'est-à-dire par un gradient radial faux dans la densité, qui donne des valeurs anormalement faibles au centre d'un objet uniforme et des valeurs élevées à sa périphérie. Les artefacts qui apparaissent aux interfaces entre matériaux de densités différentes sont plus subtils. À de telles frontières de densité, il y a souvent suroscillation ou sous-oscillation du profil de densité. Le profil de densité à l'interface doit être bien caractérisé de façon à ne pas obscurcir les délaminages et les séparations. S'il n'est pas bien caractérisé, il en résultera des situations avec fausses indications positives, voire pire, sans détection des défauts. Il est donc important de connaître la classe d'artefacts associée à l'examen réalisé et d'établir des limites quantitatives pour chaque type d'artefact particulier. Dans les images TI, certains artefacts sont inhérents à la physique et à la mathématique de la technologie employée et sont impossibles à éliminer. D'autres sont dus à des défauts de conception du matériel et du logiciel et peuvent être éliminés en améliorant le système.

Les types d'artefacts et leur gravité sont deux des facteurs qui distinguent deux systèmes TI ayant par ailleurs des spécifications identiques. L'utilisateur doit comprendre les différences existant entre ces artefacts et la manière dont ils affecteront la détermination des variables à mesurer. Par exemple, les mesures absolues de la densité seront fortement influencées par des artefacts de tuilage non compensés, mais ces mêmes artefacts n'affecteront probablement pas la détectabilité de fissures radiales.

(standards.iteh.ai)

5 Appareillage

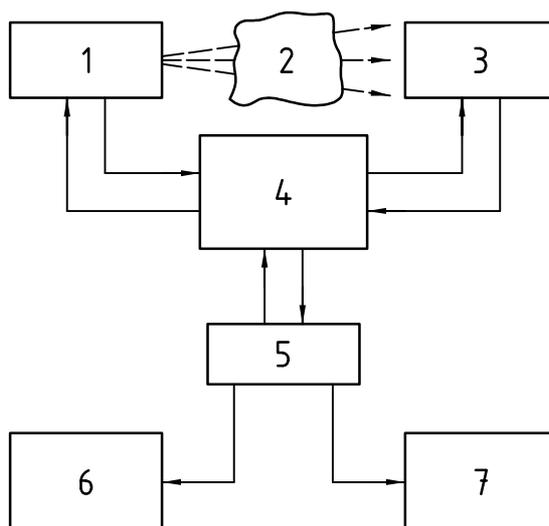
5.1 Sous-systèmes

ISO 15708-1:2002

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c71e4e0d09e/iso-15708-1-2002)

[0c71e4e0d09e/iso-15708-1-2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/63bbfc83-2666-4de2-bdd9-0c71e4e0d09e/iso-15708-1-2002)

Les systèmes TI modernes, utilisés en applications tant industrielles que médicales, sont composés d'un certain nombre de sous-systèmes, dont la configuration la plus classique est représentée à la Figure 3.



Légende

- | | | | |
|---|-----------------------|---|-------------------------------|
| 1 | Source de rayonnement | 5 | Ordinateur |
| 2 | Objet examiné | 6 | Système d'affichage graphique |
| 3 | DéTECTEURS | 7 | Stockage des données |
| 4 | Assemblage mécanique | | |

Figure 3 — Composants types d'un système TI