
**Essais non destructifs — Méthodes par
rayonnements pour la tomographie
informatisée —**

**Partie 3:
Fonctionnement et interprétation**

iTeh STANDARD PREVIEW
*Non-destructive testing — Radiation methods for computed
tomography —
(standards.iteh.ai)
Part 3: Operation and interpretation*

[ISO 15708-3:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7f6e0d0c-6445-424f-8706-ffac7c0193c3/iso-15708-3-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7f6e0d0c-6445-424f-8706-ffac7c0193c3/iso-15708-3-2017>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 15708-3:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7f6e0d0c-6445-424f-8706-ffac7c0193c3/iso-15708-3-2017>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Mode opératoire de fonctionnement	1
4.1 Généralités.....	1
4.2 Définition du système TI.....	2
4.2.1 Généralités.....	2
4.2.2 Géométrie.....	2
4.2.3 Source de rayons X.....	3
4.2.4 Détecteur.....	3
4.3 Paramètres de reconstruction.....	3
4.4 Visualisation.....	3
4.5 Analyse et interprétation des images TI.....	4
4.5.1 Généralités.....	4
4.5.2 Inspection de caractéristique/défaut.....	4
4.5.3 Inspection dimensionnelle.....	4
5 Exigences requises pour obtenir des résultats acceptables	7
5.1 Paramètres de qualité d'image.....	7
5.1.1 Contraste.....	7
5.1.2 Bruit.....	8
5.1.3 Rapport signal sur bruit.....	9
5.1.4 Rapport contraste sur bruit.....	9
5.1.5 Résolution spatiale.....	10
5.2 Adéquation de l'essai.....	11
5.3 Interprétation et critères d'acceptation d'examen TI.....	11
5.4 Enregistrements et rapports.....	11
5.5 Artefacts.....	12
5.5.1 Généralités.....	12
5.5.2 Artefacts de durcissement de faisceau.....	12
5.5.3 Artefacts de bord.....	13
5.5.4 Rayonnement diffusé.....	14
5.5.5 Instabilités.....	14
5.5.6 Artefacts en anneau.....	15
5.5.7 Artefacts d'erreur de centre de rotation.....	15
5.5.8 Artefacts de mouvement.....	16
5.5.9 Artefacts dus à un nombre insuffisant de projections.....	16
5.5.10 Artefacts de faisceau conique.....	17
Annexe A (informative) Mesure de la résolution spatiale au moyen de jauges à paires de lignes	18
Bibliographie	21

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 appelée 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/patents).

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 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 le lien suivant: www.iso.org/iso/avant-propos.html

Le présent document a été élaboré par le Comité européen de normalisation (CEN) (en tant qu'EN 16016-3) et a été adopté, suivant une procédure par voie express, par le comité technique ISO/TC 135, *Essais non destructifs*, SC 5 Contrôle par radiographie, parallèlement à son approbation par les comités membres de l'ISO.

Cette première édition de l'ISO 15708-3 annule et remplace l'ISO 15708-2:2002, dont elle constitue une révision technique. Elle prend en compte les avancées réalisées en matière de tomographie informatisée (TI) et de puissance de calcul au cours des dix dernières années.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 15708 peut être consultée sur le site de l'ISO.

Essais non destructifs — Méthodes par rayonnements pour la tomographie informatisée —

Partie 3: Fonctionnement et interprétation

1 Domaine d'application

Le présent document fournit une présentation générale du fonctionnement d'un système de tomographie informatisée (TI) et de l'interprétation des résultats afin de donner à l'utilisateur des informations techniques pour sélectionner les paramètres adaptés.

Il est applicable à l'imagerie industrielle (c'est-à-dire aux applications non médicales) et donne un ensemble cohérent de définitions des paramètres de performance de la TI, y compris la façon dont ces paramètres sont reliés aux spécifications du système TI.

Le présent document traite de la tomographie axiale informatisée et exclut les autres types de tomographie, tels que la tomographie par translation et la tomosynthèse.

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 15708-1:2017, *Essais non destructifs — Méthodes par rayonnements pour la tomographie informatisée — Partie 1: Terminologie*

ISO 15708-2:2017, *Essais non destructifs — Méthodes par rayonnements pour la tomographie informatisée — Partie 2: Principes, équipements et échantillons*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 15708-1 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:

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

4 Mode opératoire de fonctionnement

4.1 Généralités

Pour les modes opératoires d'examen de tomographie informatisée (TI) avec un objectif ciblé, les tâches d'inspection et de mesure concernant la taille et le type de caractéristiques/défauts à vérifier sont définies à l'avance; par exemple par la spécification de niveaux appropriés d'acceptation et d'écarts de géométrie. Dans ce qui suit, les étapes d'un processus d'une application TI sont décrites et des informations sur sa mise en œuvre sont fournies.

4.2 Définition du système TI

4.2.1 Généralités

La définition du système TI doit être orientée vers les exigences de la tâche d'inspection donnée. La résolution spatiale (tenant compte de la dimension du foyer du tube), la résolution en contraste, la taille de voxel et la qualité d'image TI requises sont calculées à partir de ces exigences. La qualité de l'image TI est déterminée par différents paramètres qui, dans certains cas, se compensent les uns les autres.

Dans ce qui suit, les paramètres du système sont décrits et des informations sont fournies sur la définition d'un système TI pour un examen donné. En raison des interactions des différents paramètres du système, il peut être nécessaire de répéter les étapes de définition plusieurs fois afin d'acquérir des données optimales.

L'énergie optimale est celle qui donne le meilleur rapport signal/bruit et non nécessairement celle qui donne la radiographie la plus nette (la dépendance de l'efficacité du détecteur avec l'énergie doit être prise en compte). Toutefois, afin de différencier des matériaux de composition chimique différente, il peut être nécessaire d'ajuster la tension d'accélération pour maximiser la différence entre leurs coefficients d'atténuation linéique.

4.2.2 Géométrie

Il convient de spécifier les distances source-détecteur et source-objet et donc également l'angle du faisceau. Afin d'obtenir des résolutions élevées, la projection peut être agrandie sur le détecteur. Le grandissement est égal au rapport de la distance source-détecteur sur la distance source-objet. Le fait d'augmenter la distance source-détecteur conduit à une intensité réduite au niveau du détecteur et donc à un rapport signal/bruit réduit. De la même façon, l'utilisation d'un détecteur présentant une meilleure résolution peut entraîner une réduction du rapport signal/bruit du fait de l'intensité par pixel réduite. En général, pour cette raison, il est préférable de minimiser la distance source-objet pour augmenter le grandissement.

<https://standards.itech.ai/catalog/standards/sist/7f6e0d0c-6445-424f-8706-f7c0193c3/iso-15708-3-2017>

Afin d'obtenir une intensité de faisceau élevée au niveau du détecteur, il convient de choisir une distance source-détecteur aussi courte que possible en tenant compte de la résolution requise, de sorte que le cône du faisceau éclaire encore entièrement le détecteur. Dans le cas de la TI 3D, il convient que l'angle total du faisceau conique (en général vertical) mesuré parallèlement à l'axe de rotation soit généralement inférieur à 15°, afin de réduire au minimum les distorsions du modèle 3D déterminées par la reconstruction (Feldkamp), mais cela dépend de l'échantillon. De plus, ces restrictions ne s'appliquent pas à l'angle du faisceau perpendiculaire (en général horizontal). Pour un grandissement géométrique plus élevé, l'objet doit être positionné aussi près que possible de la source, en tenant compte de la limite en matière de netteté imposée par la dimension du foyer d'émission. La rotation de l'objet doit correspondre à un angle minimal de 180° plus l'angle d'ouverture du faisceau de rayons X, l'augmentation du nombre de pas angulaires permettant d'améliorer la qualité des données. Pour cette raison, l'objet est en général tourné sur 360°. Idéalement, il convient que le nombre de pas angulaires soit au moins de $\pi/2 \times$ dimensions de la matrice (nombre impair de projections par rotation de 360°), où la dimension de la matrice est le nombre de voxels correspondant au diamètre ou la plus grande dimension de l'échantillon. Voir [5.5](#) pour de plus amples informations.

Il convient que le nombre de projections soit $> \pi \times$ dimensions de la matrice pour une meilleure qualité de reconstruction (nombre pair ou impair de projections pour 360°).

Afin d'obtenir des informations aussi complètes que possible sur l'échantillon, l'exigence pour une TI est que l'objet (ou la région d'intérêt de l'objet) soit entièrement représenté dans chaque projection sur le détecteur. Pour les grands composants qui dépassent le cône du faisceau, on utilise ce que l'on appelle une extension de plage de mesure. Cette extension de plage de mesure est obtenue en déplaçant latéralement soit l'objet soit le détecteur, et en enregistrant les données de projection sous forme de mesures séquentielles et enfin en les chaînant (en les regroupant). Dans certains cas, il est également possible d'imager seulement une partie de l'objet (TI de région d'intérêt), ce qui peut conduire à une qualité de données restreinte à cause des données manquantes (qu'on appelle troncatures).

Les écarts possibles de la géométrie d'enregistrement (décalage entre l'axe de rotation projeté et l'axe médian de l'image) doivent être corrigés afin d'obtenir une reconstruction aussi précise que possible. Il est possible de les éliminer par un réalignement minutieux du système ou une correction logicielle.

4.2.3 Source de rayons X

Au niveau de la source de rayons X, l'énergie de faisceau et le courant de tube maximaux doivent être définis de façon à garantir une pénétration suffisante de l'objet contrôlé et une puissance de tube présentant un foyer suffisamment petit. La tension nécessaire doit être déterminée par la longueur maximale du trajet dans le matériau irradié, conformément à 8.2 de l'ISO 15708-2:2017. Pour obtenir les meilleurs résultats de mesure, il convient d'utiliser un rapport d'atténuation d'environ 1:10. Cela signifie qu'il convient que le niveau de gris dans l'échantillon soit égal à environ 10 % du niveau de blanc (tous deux mesurés par rapport au niveau de noir). La gamme optimale peut être obtenue en utilisant des préfiltres. Il convient de remarquer que tout préfiltre réduit l'intensité. Les préfiltres présentent l'avantage supplémentaire de réduire le durcissement de faisceau, même si d'autres améliorations peuvent être faites par une correction logicielle.

4.2.4 Détecteur

Les paramètres suivants du détecteur doivent être définis de manière appropriée à l'échantillon soumis à l'essai:

- durée d'exposition (cadence d'acquisition);
- nombre d'intégrations par projection;
- gain et offset de numérisation;
- regroupement des pixels.

Au besoin, il convient d'appliquer des corrections d'offset, de gain et de pixels défectueux (qui peuvent dépendre des paramètres des rayons X).

La projection TI individuelle est déterminée par les propriétés du détecteur: sa résolution géométrique, sa sensibilité, sa dynamique et son bruit. Le gain et la durée d'exposition peuvent être ajustés ainsi que l'intensité du rayonnement de la source de sorte que l'intensité numérisée maximale ne dépasse pas 90 % du niveau de saturation.

Pour réduire le rayonnement diffusé, il est possible d'utiliser un filtre fin, une grille ou un réseau de lamelles devant le détecteur (filtrage intermédiaire).

Le temps d'acquisition idéal dépend de la qualité de l'image TI exigée et est souvent limité par le temps disponible pour l'examen.

4.3 Paramètres de reconstruction

La région volumétrique à reconstruire, la dimension de l'image TI (en termes de voxels), ainsi que sa gamme dynamique (dont il est recommandé qu'elle prenne en compte la gamme dynamique du détecteur), doivent être spécifiées. Afin d'obtenir une qualité d'image TI suffisante, il convient d'optimiser les paramètres pour les corrections ou l'algorithme de reconstruction.

La région volumétrique est définie par le nombre de voxels sur les axes X, Y et Z.

4.4 Visualisation

En utilisant la visualisation volumique, l'image TI peut être présentée sous la forme d'un objet 3D. Des valeurs de couleur et d'opacité quelconques peuvent être attribuées aux niveaux de gris individuels pour mettre en évidence ou cacher des matériaux présentant des atténuations de rayons X différentes. Le fait de zoomer, d'exécuter un défilement, de définir le contraste, la luminance, la couleur et l'éclairage, permet une présentation optimale de l'image TI. De plus, il est possible de placer des plans

de coupe définis par l'utilisateur dans l'objet afin d'examiner la structure interne ou de visualiser de manière interactive l'image TI, par exemple en la faisant pivoter et en la déplaçant comme un objet 3D. Un traitement de l'image peut être appliqué aux images TI pour améliorer la reconnaissance des caractéristiques.

Il peut être impossible de charger d'un coup toute l'image TI en résolution intégrale dans la mémoire.

4.5 Analyse et interprétation des images TI

4.5.1 Généralités

Les caractéristiques typiquement recherchées dans le cadre d'un examen sont les pores, les cavités, les fissures, les inclusions, les impuretés ou les distributions de matériau non homogènes.

Les tâches de mesure typiques consistent à obtenir les propriétés dimensionnelles (telles que la longueur ou l'épaisseur de paroi) ou à calculer la morphologie d'un objet.

4.5.2 Inspection de caractéristique/défaut

Les caractéristiques recherchées dans l'échantillon entraînent en général des changements de niveau de gris TI dans l'image TI. Un personnel qualifié effectue l'analyse des images TI au moyen d'un logiciel. Il convient d'utiliser une gamme de contraste adaptée ou un étalonnage automatique ou manuel. Il est possible de déterminer la position, le niveau de gris TI et les dimensions des caractéristiques. Plusieurs outils sont disponibles pour ce faire, notamment des outils manuels ou automatiques tels que des lignes ou des jauges périodiques qui constituent des bords et correspondent à des seuils de valeurs de gris spécifiées. Pour examiner la structure et l'emplacement de composants assemblés, une comparaison qualitative d'images TI sans détermination des dimensions peut suffire.

Pour une détermination automatique au moyen d'outils logiciels de visualisation (par exemple des analyses de défaut), un étalonnage est en général requis pour spécifier une plage de valeurs de gris pour le matériau de l'échantillon à mesurer. La spécification des niveaux de gris peut se faire manuellement au moyen d'histogrammes ou de façon interactive.

La détectabilité des caractéristiques dépend de la taille de la caractéristique par rapport à la résolution géométrique et la résolution en contraste comparée à la différence de contraste de la caractéristique par rapport au matériau de base, ainsi que de la qualité de l'image (rapport signal/bruit, etc.) et de tout effet d'interférence possible entre les voxels adjacents (effet de volume partiel). Pour la détectabilité des pores isolés, cavités ou fissures, il convient que leur étendue minimale soit typiquement 2 à 3 fois la taille de pixel non agrandie (mesurée à la position de l'échantillon).

4.5.3 Inspection dimensionnelle

4.5.3.1 Généralités

Selon la tâche, il existe différentes méthodes utilisées actuellement pour déterminer les caractéristiques géométriques. Il est possible de déterminer manuellement des distances point à point dans les coupes TI ou d'extraire des caractéristiques plus complexes à l'aide d'un logiciel d'analyse.

La mesure des propriétés géométriques d'un objet au moyen de la TI est un mode opératoire indirect dans lequel la mesure des dimensions se fait, ou est calculée, à partir des images TI. De ce fait, afin d'obtenir des mesures précises, il est nécessaire d'avoir une connaissance exacte de deux variables importantes:

- l'échelle précise de l'image ou taille de voxel; et
- la surface de séparation de deux matériaux, par exemple la surface du composant (transition matériau-air), qui peut être déterminée par un seuil de valeur de gris TI dans l'image TI.

4.5.3.2 Détermination de l'échelle précise de l'image

L'échelle précise de l'image ou la taille de voxel doit être déterminée par la mesure d'un étalon adapté (avec l'objet à mesurer et directement avant/après l'examen de l'objet) ou au moyen d'une géométrie de référence sur l'objet lui-même. Pour cela, la taille de voxel ou le grandissement, M , spécifié par le système TI doit être comparé avec la taille de voxel ou le grandissement réel disponible et déterminé précisément (au moyen de l'étalon/de la géométrie de référence). Ainsi par exemple, la taille de voxel exacte peut être déterminée avec une précision élevée par la mesure de l'entraxe d'une éprouvette (par exemple, un haltère, voir [Figure 1](#)), sans l'effet perturbateur d'autres variables (par exemple, la position précise de la surface du composant (obtenue par un seuil de valeur de gris) dans l'image TI). Dans ce mode opératoire, il faut prendre en compte le fait que les valeurs de gris TI de l'éprouvette peuvent, dans certains cas, être influencées par les étalons de référence joints (par exemple par des changements de rapports de contraste, des interférences et des artefacts). En utilisant les tailles de voxel réelles déterminées de cette manière, le logiciel de visualisation peut être calibré/corrigé de manière correspondante en ce qui concerne la taille de voxel spécifiée par le système.



Figure 1 — Objets de référence (haltères)

4.5.3.3 Détermination de valeur seuil

Pour pouvoir procéder à des mesures dimensionnelles, la surface du composant ou la surface extérieure du matériau doit être déterminée dans l'image TI. En général, la surface du composant est calculée à partir de la transition de l'objet solide à l'air environnant. La surface de séparation est définie par une valeur seuil et dépend donc des matériaux et des paramètres des rayons X. Cette valeur seuil peut être spécifiée de manière globale pour toute l'image TI comme une moyenne des valeurs de gris, par exemple du matériau et de l'air. Elle est parfois appelée le « seuil Iso50 ». Une valeur seuil globale, ou un étalonnage au moyen de la méthode Iso50, est adapté(e) aux opérations de mesure sur des objets constitués d'un matériau homogène.

Une valeur seuil globale n'est pas adaptée aux objets constitués de plusieurs matériaux. Dans ce cas, il convient d'utiliser des valeurs seuils différentes selon les matériaux se trouvant de chaque côté de la séparation. Même dans le cas d'objets constitués d'un matériau homogène, le durcissement de faisceau, la diffusion et d'autres artefacts peuvent provoquer un affaiblissement des valeurs ou un éblouissement local de l'image TI, susceptible d'entraîner une distorsion des résultats de mesure. Le seuil de valeur de gris, par exemple, pour les surfaces internes du composant, est donc souvent différent de celui pour les surfaces externes du composant. Si nécessaire, la valeur seuil peut être déterminée localement à partir des niveaux de gris de chaque côté de la séparation. Une détermination de la surface totale du composant par les valeurs seuils déterminées localement est certes plus longue, mais aussi plus tolérante par rapport aux variations de contraste et aux effets des artefacts.

4.5.3.4 Ajustement des corps à primitive géométrique

En plus des opérations point à point simples (voir 4.5.3), il est possible d'utiliser des méthodes provenant de la technique de mesure de coordonnées, telles que l'ajustement d'une géométrie de référence. À cet égard, il s'agit d'ajuster, au moyen d'un logiciel, lesdits corps à primitive géométrique ou éléments de référence (par exemple, des plans, des cylindres, des sphères ou des objets semblables), aux contours d'intérêt de l'objet dans les données étalonnées de manière adéquate. Au niveau des éléments de référence, les caractéristiques géométriques (par exemple, le diamètre, les distances, les angles, etc.) sont déterminées directement, ou en combinant les éléments de référence. Par ajustement des données correspondantes aux points de mesure, typiquement de plusieurs milliers, il est donc possible d'obtenir une précision souvent bien plus élevée que par la mesure manuelle de distance de deux points, en raison du moyennage statistique et de la réduction de l'influence de l'utilisateur.

4.5.3.5 Génération de données géométriques

Des modèles dits triangulaires peuvent être extraits des voxels et du seuil de valeur de gris étalonné. Ces modèles représentent l'isosurface à la valeur seuil étalonnée, c'est-à-dire la surface du matériau sous forme de triangles liés. Le modèle triangulaire contient les informations de géométrie sur la surface de l'objet, en tant qu'élément de précision du processus d'extraction (voir ci-dessous). Il est constitué de deux types d'informations uniquement: lesdits sommets et les informations reliant les sommets à un triangle. Les sommets sont des points en 3D qui se trouvent sur l'isosurface à la valeur seuil. L'ensemble de tous les sommets est également appelé un nuage de points. Il s'agit initialement des informations de liaison, c'est-à-dire des informations indiquant les trois sommets qui, dans chaque cas, forment un triangle de surface, ce qui définit le cours de la surface de l'objet.

Un format étalon pour l'échange de données est le format de fichier appelé STL (ASCII ou binaire et sans dimension). Dans un autre cas, le nuage de points (sommets sans informations de triangle) peut être exporté, ce qui entraîne en général une perte d'informations importantes sur les sommets adjacents qui doivent, au besoin, être ensuite reproduites.

La qualité géométrique du nuage de points ou modèle triangulaire généré dépend entièrement du nombre et de la position des sommets. Du fait que seuls des triangles sont supposés exister entre les sommets dans le modèle triangulaire, des structures de surface détaillées, contenues dans les voxels entre les différents sommets peuvent, dans certains cas, ne pas être représentées et sont donc perdues.

L'extraction d'un nuage de points ou d'un modèle triangulaire à partir des voxels correspond à un balayage de la surface de l'objet. Pour un traitement supplémentaire, il est en général nécessaire de réduire la quantité de données. La qualité ou précision géométrique du modèle triangulaire dépend de la manière dont le triangle peut reproduire le cours réel de la surface du matériau (par exemple, erreur de corde). Certaines applications logicielles particulières visent une réduction à faible perte du nombre de triangles.

Pour chacune de ces étapes de processus, les pertes impliquées doivent être prises en compte pour les étapes suivantes. En raison des conditions particulières du processus, la plausibilité et la signification de la qualité des données dimensionnelles doivent être vérifiées.

4.5.3.6 Comparaison nominal-réel

Une application TI de mesure dimensionnelle est la comparaison de la partie enregistrée (objet réel) avec la géométrie nominale de la CAO (ou d'autres sources). Après avoir recalé le système de coordonnées TI avec le système de coordonnées CAO, il est possible, au moyen d'un logiciel adapté, de comparer l'écart géométrique du composant réel mesuré par TI avec la spécification CAO de la géométrie nominale. La comparaison nominal-réel peut être effectuée entre le modèle STL exporté ou le nuage de points et les données CAO ou en comparant directement les voxels avec les données CAO sans extraction préalable de STL ou de nuage de points.

4.5.3.7 Traitement supplémentaire des données géométriques

La TI peut également être utilisée pour la détermination non destructive de données géométriques (rétroingénierie), par exemple de parties de prototypes ou composants adjacents.

Les modèles CAO ne sont pas fondés sur des modèles triangulaires, mais sur des primitives géométriques (par exemple, un cylindre) et des surfaces dites de forme libre. Pour cette raison, un traitement supplémentaire des données géométriques dans les systèmes CAO est requis, par exemple, la construction de la surface déterminée à partir des voxels dans un modèle établi par CAO. Au moyen d'un logiciel adapté, les modèles triangulaires peuvent être transférés vers des éléments compatibles avec la CAO (technique appelée rétro-ingénierie), moyennant quoi des objets examinés par TI, c'est-à-dire des géométries réelles, peuvent de nouveau être intégrés dans le processus de CAO.

5 Exigences requises pour obtenir des résultats acceptables

5.1 Paramètres de qualité d'image

5.1.1 Contraste

La quantité reconstruite dans l'imagerie TI aux rayons X est le coefficient d'atténuation linéique, μ . Ce coefficient est mesuré en unités de longueur inverse (par exemple, mm^{-1}) et est approximativement proportionnel à la densité électronique du matériau. Pour pouvoir être distinguée, une caractéristique doit avoir un coefficient d'atténuation linéique, μ_f , suffisamment différent du coefficient d'atténuation linéique du matériau de fond, μ_b .

Les coefficients d'atténuation linéique sont des fonctions de l'énergie incidente des rayons X. Pour simplifier la discussion, les rayons X utilisés sont supposés avoir une énergie unique, E , ou se rapprochant d'une énergie moyenne, \bar{E} , dans le cas d'un spectre d'énergies. Si l'énergie moyenne n'est pas connue, la règle est en général d'adopter la valeur d'un tiers du potentiel d'accélération si l'atténuation de l'objet exposé est faible, ou de deux tiers du potentiel d'accélération si l'atténuation de l'objet est forte.

La [Figure 2](#) représente la fonction de dépendance énergétique des coefficients d'atténuation linéique des rayons X de deux matériaux hypothétiques, μ_b et μ_f . $\Delta\mu$ est la différence d'atténuation pour ces deux matériaux:

$$\Delta\mu = |\mu_b - \mu_f| \quad (1)$$

En TI, le contraste est défini comme la différence d'une caractéristique par rapport à un matériau de fond, exprimée en pourcentage.

$$\text{Contraste: } \Delta\mu (\%) = \frac{|\mu_b - \mu_f|}{\mu_b} \times 100 \quad (2)$$

Cette définition du contraste part de l'hypothèse que la caractéristique en question porte sur toute l'épaisseur de la coupe TI. Si la caractéristique a une épaisseur, h_f , mais est représentée dans une coupe d'épaisseur plus importante, h_s , le contraste est réduit par le facteur h_f / h_s (effet de volume partiel).

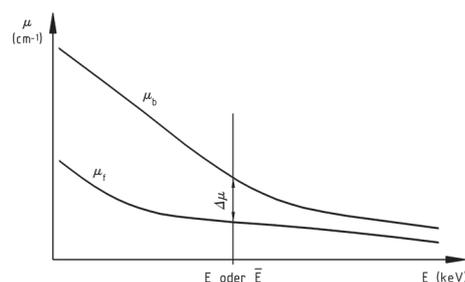


Figure 2 — $\Delta\mu$ en fonction de l'énergie des rayons X