

**IIW**

Début de vote:  
2020-11-05

Vote clos le:  
2020-12-31

---

---

**Essais non destructifs — Contrôle par ultrasons — Utilisation générale de l'acquisition de la matrice intégrale/ technique de focalisation en tous points (FMC/FTP)**

*Non-destructive testing — Ultrasonic testing — General use of full matrix capture / total focusing technique (FMC/TFM) and related technologies*  
**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO/FDIS 23865](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fe5f981e-5d5f-440c-b615-df6f623b8e0f/iso-fdis-23865)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fe5f981e-5d5f-440c-b615-df6f623b8e0f/iso-fdis-23865>

Il est demandé aux comités membres de consulter les intérêts nationaux respectifs concernant l'ISO/TC 135/SC 3 avant de donner leur position sur la plateforme de e-Balloting.

LES DESTINATAIRES DU PRÉSENT PROJET SONT INVITÉS À PRÉSENTER, AVEC LEURS OBSERVATIONS, NOTIFICATION DES DROITS DE PROPRIÉTÉ DONT ILS AURAIENT ÉVENTUELLEMENT CONNAISSANCE ET À FOURNIR UNE DOCUMENTATION EXPLICATIVE.

OUTRE LE FAIT D'ÊTRE EXAMINÉS POUR ÉTABLIR S'ILS SONT ACCEPTABLES À DES FINS INDUSTRIELLES, TECHNOLOGIQUES ET COMMERCIALES, AINSI QUE DU POINT DE VUE DES UTILISATEURS, LES PROJETS DE NORMES INTERNATIONALES DOIVENT PARFOIS ÊTRE CONSIDÉRÉS DU POINT DE VUE DE LEUR POSSIBILITÉ DE DEVENIR DES NORMES POUVANT SERVIR DE RÉFÉRENCE DANS LA RÉGLEMENTATION NATIONALE.



Numéro de référence  
ISO/FDIS 23865:2020(F)

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO/FDIS 23865](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fe5f981e-5d5f-440c-b615-df6f623b8e0f/iso-fdis-23865)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fe5f981e-5d5f-440c-b615-df6f623b8e0f/iso-fdis-23865>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2020

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  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

|                                                                                                                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Avant-propos.....                                                                                                                                                                  | iv        |
| <b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....                                                                                                                                        | <b>1</b>  |
| <b>2</b> <b>Références normatives</b> .....                                                                                                                                        | <b>1</b>  |
| <b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....                                                                                                                                        | <b>1</b>  |
| <b>4</b> <b>Principe de la technique</b> .....                                                                                                                                     | <b>2</b>  |
| 4.1    Généralités.....                                                                                                                                                            | 2         |
| 4.2    Comparaison entre les techniques FMC/FTP et PAUT.....                                                                                                                       | 4         |
| <b>5</b> <b>Exigences relatives à l'état de surface et au couplant</b> .....                                                                                                       | <b>5</b>  |
| <b>6</b> <b>Informations exigées avant le contrôle</b> .....                                                                                                                       | <b>5</b>  |
| 6.1    Généralités.....                                                                                                                                                            | 5         |
| 6.2    Éléments à définir avant l'élaboration du mode opératoire.....                                                                                                              | 5         |
| <b>7</b> <b>Exigences relatives au personnel réalisant le contrôle</b> .....                                                                                                       | <b>6</b>  |
| <b>8</b> <b>Exigences relatives à l'appareillage de contrôle</b> .....                                                                                                             | <b>6</b>  |
| 8.1    Généralités.....                                                                                                                                                            | 6         |
| 8.2    Appareillage.....                                                                                                                                                           | 6         |
| 8.3    Traducteurs.....                                                                                                                                                            | 7         |
| 8.4    Mécanismes de balayage.....                                                                                                                                                 | 7         |
| 8.5    Fréquence d'échantillonnage.....                                                                                                                                            | 8         |
| 8.6    Traitement des données.....                                                                                                                                                 | 8         |
| 8.7    Évaluation des indications FTP.....                                                                                                                                         | 8         |
| <b>9</b> <b>Avantages des différents modes de reconstruction</b> .....                                                                                                             | <b>9</b>  |
| <b>10</b> <b>Préparation avant contrôle</b> ..... <a href="https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fe5f981e-5d5f-440c-b615-d6f623b8e0f/iso-fdis-23865">ISO/FDIS 23865</a> | <b>10</b> |
| 10.1    Généralités.....                                                                                                                                                           | 10        |
| 10.2    Vérification du système.....                                                                                                                                               | 10        |
| 10.3    Correction de la sensibilité.....                                                                                                                                          | 10        |
| 10.4    Réglage de la sensibilité.....                                                                                                                                             | 11        |
| 10.5    Vérification du maillage.....                                                                                                                                              | 11        |
| 10.6    Préparation des surfaces à balayer.....                                                                                                                                    | 12        |
| 10.7    Couplant.....                                                                                                                                                              | 12        |
| <b>11</b> <b>Mode opératoire de contrôle</b> .....                                                                                                                                 | <b>12</b> |
| <b>12</b> <b>Conservation des données</b> .....                                                                                                                                    | <b>13</b> |
| <b>13</b> <b>Interprétation et analyse des images FTP</b> .....                                                                                                                    | <b>13</b> |
| 13.1    Généralités.....                                                                                                                                                           | 13        |
| 13.2    Évaluation de la qualité des images FTP.....                                                                                                                               | 14        |
| 13.3    Identification des indications FTP pertinentes.....                                                                                                                        | 14        |
| <b>14</b> <b>Rapport de contrôle</b> .....                                                                                                                                         | <b>14</b> |
| <b>15</b> <b>Influences typiques et mécanismes de compensation</b> .....                                                                                                           | <b>15</b> |
| <b>Annexe A (informative) Comparaison de la technique FMC/FTP avec le contrôle par ultrasons multiéléments (PAUT) conventionnel</b> .....                                          | <b>16</b> |
| <b>Annexe B (informative) Technique FMC/FTP et autres techniques d'acquisition et d'imagerie</b> .....                                                                             | <b>20</b> |
| <b>Annexe C (informative) Vérification de la configuration FMC/FTP, de la ROI et du maillage</b> .....                                                                             | <b>24</b> |
| <b>Annexe D (informative) Réglages recommandés et exemples d'images FMC/FTP</b> .....                                                                                              | <b>28</b> |
| <b>Bibliographie</b> .....                                                                                                                                                         | <b>45</b> |

## 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](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/avant-propos](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par l'IIW, *Institut international de la soudure*, Commission V, *NDT and Quality Assurance of Welded Products (Essais non destructifs et assurance qualité des produits soudés)*.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/members.html](http://www.iso.org/members.html).

# Essais non destructifs — Contrôle par ultrasons — Utilisation générale de l'acquisition de la matrice intégrale/ technique de focalisation en tous points (FMC/FTP)

**IMPORTANT** — Le fichier électronique du présent document contient des couleurs qui sont considérées comme utiles pour la bonne compréhension du document. Il convient donc d'envisager d'imprimer ce document à l'aide d'une imprimante couleur.

## 1 Domaine d'application

Le présent document fournit des dispositions générales pour l'application de contrôle par ultrasons en réseaux avec des techniques FMC/FTP et des technologies associées. Il est destiné à favoriser l'adoption de bonnes pratiques soit au stade de la fabrication, soit pour les contrôles en service d'installations existantes ou lors de réparations.

Quelques exemples d'applications considérées dans le présent document traitent de la caractérisation et du dimensionnement dans l'évaluation des endommagements.

Les matériaux considérés sont les aciers au carbone faiblement alliés et les alliages courants d'aluminium et de titane de qualité aérospatiale, à condition qu'ils soient homogènes et isotropes, mais certaines recommandations sont données pour d'autres matériaux (par exemple les aciers austénitiques).

Le présent document ne contient pas les niveaux d'acceptation relatifs aux discontinuités.

Pour l'application des techniques FMC/FTP aux contrôles des assemblages soudés, voir l'ISO 23864.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fe5f981e-5d5f-440c-b615-df6f623b8e0f/iso-fdis-23865>

## 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 5577, *Essais non destructifs — Contrôle par ultrasons — Vocabulaire*

ISO 9712, *Essais non destructifs — Qualification et certification du personnel END*

ISO 16810, *Essais non destructifs — Contrôle par ultrasons — Principes généraux*

ISO 18563-1, *Essais non destructifs — Caractérisation et vérification de l'appareillage de contrôle par ultrasons en multiéléments — Partie 1: Appareils*

ISO 18563-2, *Essais non destructifs — Caractérisation et vérification de l'appareillage de contrôle par ultrasons en multiéléments — Partie 2: Traducteurs*

ISO 23243, *Essais non destructifs — Contrôle à l'aide de réseaux ultrasonores — Vocabulaire*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 5577, l'ISO 23243 ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

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

## 3.1

### **acquisition de la matrice intégrale/technique de focalisation en tous points FMC/FTP**

assemblage d'une stratégie d'acquisition de données et d'un système d'imagerie, dans lequel la stratégie d'acquisition se caractérise par une acquisition de la matrice intégrale et le système d'imagerie se caractérise par une technique de focalisation en tous points; la stratégie d'acquisition de données et d'imagerie peut être exécutée avec plusieurs technologies similaires

Note 1 à l'article: La technique FTP est souvent appelée «méthode de focalisation en tous points» mais, dans le présent document, le terme «méthode» n'est pas utilisé car dans le cadre des essais non destructifs il est réservé à l'application d'un principe physique (voir l'ISO 9712).

## 3.2

### **configuration FMC/FTP**

configuration des traducteurs définie par les caractéristiques des traducteurs (par exemple fréquence, taille des éléments des traducteurs, type d'onde), position des traducteurs et nombre de traducteurs

Note 1 à l'article: Sauf indication contraire, dans le présent document «FTP» et «FMC» font référence aux techniques telles que définies dans l'ISO 23243, et à toutes les technologies associées; voir par exemple l'[Annexe B](#) et l'ISO 23243.

iteh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

## 4 Principe de la technique

[ISO/FDIS 23865](#)

### 4.1 Généralités

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fe5f981e-5d5f-440c-b615-df6f623b8e0f/iso-fdis-23865>

La technique FMC/FTP et le contrôle par ultrasons multiéléments (PAUT) utilisent tous deux un traducteur multiéléments où chaque élément du réseau est indépendant des autres. Les caractéristiques physiques liées à la propagation des ondes provenant des éléments du réseau régissent les capacités des deux techniques de la même manière. Dans la technique PAUT normalisée, selon l'ISO 13588, l'ouverture active est utilisée pour générer des faisceaux ultrasonores pour le contrôle.

En comparaison, l'approche de la technique FMC/FTP utilise généralement l'ensemble du réseau afin d'obtenir la meilleure performance d'imagerie focalisée possible, car pour une focalisation efficace, il convient que le volume à contrôler se situe dans la zone du champ proche du réseau. En effet, ainsi la performance est maximisée par l'utilisation de l'ensemble du réseau. Avec la technique PAUT, les faisceaux peuvent également être «focalisés» de la même manière qu'avec la technique FMC/FTP en utilisant de grandes ouvertures ou l'ensemble du réseau pour créer des faisceaux qui concentrent la pression acoustique sur des points spécifiques, en s'assurant que ces points focaux sont dans la zone du champ proche de l'ouverture.

Plusieurs modes de reconstruction décrits dans le [Tableau 1](#) peuvent être utilisés.

Tableau 1 — Description des modes de reconstruction

| Mode de reconstruction | Exemples                                             | Description                                                                                                                  |
|------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        | T-T<br>L-L                                           | trajet direct de l'émetteur, trajet direct du récepteur                                                                      |
|                        | T-TT, TT-T<br>LL-L, L-LL<br>LT-T, T-TL<br>TT-L, L-TT | trajet direct de l'émetteur, trajet indirect du récepteur<br>ou<br>trajet indirect de l'émetteur, trajet direct du récepteur |
|                        | TT-TT<br>LL-LL<br>TL-LT                              | trajet indirect de l'émetteur, trajet indirect du récepteur                                                                  |
|                        | L-L<br>T-T                                           | trajet direct de l'émetteur, trajet direct du récepteur<br>(en utilisant des réseaux séparés avec une distance connue)       |
|                        | TT-TT<br>LL-LL<br>TL-LT                              | trajet indirect de l'émetteur, trajet indirect du récepteur<br>(en utilisant des réseaux séparés avec une distance connue)   |

NOTE 1 Toutes les figures sont schématiques, elles ne sont pas à l'échelle. En vertu du principe de réciprocité, l'émetteur et le récepteur peuvent être permutés, ce qui signifie que la totalité du trajet peut être suivie en sens inverse. Le sens des flèches des trajets représentés dans ce tableau est arbitraire. Les dessins ont pour but d'illustrer les hypothèses faites sur le mode de reconstruction pour le calcul de l'image et n'impliquent pas la formation du faisceau ou la focalisation des ondes ultrasonores.

NOTE 2 L'utilisation de modes de reconstruction indirects, en particulier ceux qui visent à produire une image représentative de la forme des réflecteurs, exige une évaluation précise des propriétés physiques réelles des composants, telles que la vitesse des ondes ultrasonores, l'épaisseur des parois ou l'existence de surfaces non planes. Cela peut être compensé en post-traitement, ou en utilisant un algorithme d'imagerie adaptatif.

NOTE 3 L correspond aux ondes longitudinales et T aux ondes transversales.

4.2 Comparaison entre les techniques FMC/FTP et PAUT

La technique PAUT applique différents retards aux éléments de l'ouverture active afin de contrôler le faisceau ultrasonore à l'intérieur de l'objet contrôlé. Il en résulte un faisceau régi par l'interférence constructive et destructive des ondes de chaque élément de l'ouverture active. Pendant la phase de réception, les signaux élémentaires sont additionnés pour donner une seule représentation de type A. En plus de pouvoir «piloter» le faisceau dans une gamme d'angles, la technique PAUT permet le contrôle de chaque faisceau ce qui permet de focaliser la pression acoustique dans la zone de champ proche de l'ouverture active.

En comparaison, la technique FTP est une technique de post-traitement ou d'imagerie appliquée aux signaux FMC qui ne crée pas de faisceaux à l'intérieur de l'objet contrôlé pendant la phase d'émission. Au lieu de cela, le champ sonore émis dans le composant provient d'un élément du réseau et les échos générés à l'intérieur du composant en raison de ce champ acoustique sont ensuite enregistrés sur tous les éléments du réseau, comme représenté à la Figure 1. Les activations successives d'éléments individuels sur le réseau et l'enregistrement des échos résultants sur tous les éléments sont appelés acquisition de la matrice intégrale (FMC).



a) Activation du premier élément et front d'ondes se déplaçant dans l'objet contrôlé d) Front d'ondes juste avant son arrivée sur les éléments du réseau



b) Front d'ondes juste avant son arrivée sur une discontinuité dans l'objet contrôlé e) Signaux collectés sur tous les éléments du réseau



c) Écho(s) réfléchi(s) ou diffracté(s) de la discontinuité revenant en direction du réseau f) Processus se poursuivant par l'activation de l'élément 2 et se répétant jusqu'à ce que le dernier élément N du réseau ait été activé

**Légende**

- 1 front d'ondes émis par l'élément 1
- 2 discontinuité
- 3 front d'ondes réfléchi ou diffracté par la discontinuité
- 4 éléments récepteurs
- 5 front d'ondes émis par l'élément 2

**Figure 1 — Exemple type d'une séquence d'événements décrivant le processus de collecte des données de FMC**

Les données de FMC peuvent alors être traitées par des algorithmes qui utilisent la matrice de données pour créer des images des échos du composant. Le terme «technique de focalisation en tous points» (FTP) est utilisé pour décrire un algorithme qui applique des lois calculées de retard aux données de FMC afin de focaliser le son sur de nombreux points dans une zone d'intérêt (ROI) définie (voir l'[Annexe B](#) pour plus de détails). Cette phase d'imagerie (où la FTP est appliquée aux données de FMC) nécessite des moyens de calcul puissants, mais les systèmes modernes sont capables d'atteindre des performances d'imagerie en quasi temps réel.

## 5 Exigences relatives à l'état de surface et au couplant

Il faut veiller à ce que l'état de surface satisfasse au moins aux exigences énoncées dans l'ISO 16810. Dans la mesure où, en règle générale, seuls des éléments individuels sont utilisés comme émetteurs et où tout signal diffracté peut également être faible, la dégradation de la qualité du signal due au mauvais état de surface a une incidence importante sur la fiabilité du contrôle.

Différents milieux de couplage peuvent être utilisés, mais leur type doit être compatible avec les matériaux à contrôler. Par exemple: de l'eau pouvant contenir un additif (agent mouillant, antigel, inhibiteur de corrosion), une pâte de contact, de l'huile, de la graisse, une pâte aqueuse cellulosique, etc.

Les caractéristiques du milieu de couplage doivent rester constantes pendant toute la durée de l'examen. Le milieu de couplage doit être adapté à la plage de température d'utilisation.

## 6 Informations exigées avant le contrôle

### 6.1 Généralités

L'ISO 18563-3 donne des informations utiles.

### 6.2 Éléments à définir avant l'élaboration du mode opératoire

Avant de pouvoir commencer un contrôle, l'opérateur doit avoir accès à toutes les informations spécifiées ci-dessous:

- a) l'objet et l'étendue du contrôle;
- b) les critères de notation;
- c) l'étape de fabrication ou d'exploitation à laquelle le contrôle doit être effectué;
- d) le ou les types de matériau de base et la forme du produit (c'est-à-dire moulé, forgé ou laminé);
- e) les caractéristiques géométriques (en particulier lorsque la réflexion est utilisée);
- f) les exigences relatives à l'accès, à l'état de surface et à la température;
- g) le moment du contrôle par rapport à tout traitement thermique (le cas échéant);

h) les critères d'acceptation et les méthodologies de dimensionnement doivent être définis par spécification et fournis avant le contrôle (à adapter lorsque des recommandations pour les cas d'application sont formulées).

En cas de soupçon d'anisotropie dans le matériau à contrôler, il faut faire preuve d'une attention particulière.

## 7 Exigences relatives au personnel réalisant le contrôle

Le personnel réalisant le contrôle conformément au présent document doit être qualifié à un niveau UT approprié conformément à l'ISO 9712 ou équivalent dans le produit ou le secteur d'activité concerné.

En plus d'une connaissance générale du contrôle par ultrasons, les opérateurs doivent être familiarisés avec la technique FMC/FTP ou la technologie associée et avoir une expérience pratique de l'utilisation de celle-ci.

Une formation et un examen spécifiques doivent être effectués, avec les modes opératoires finaux de contrôle par ultrasons et l'appareillage de contrôle par ultrasons sélectionné, sur des échantillons représentatifs contenant des réflecteurs naturels ou artificiels similaires à ceux qui sont prévus. Les résultats de la formation et de l'examen doivent être documentés.

## 8 Exigences relatives à l'appareillage de contrôle

### 8.1 Généralités

iTeh STANDARD PREVIEW

Le processus d'acquisition FMC exige un système capable d'activer les éléments un par un et de recueillir les signaux des éléments individuels du transducteur multiéléments. D'autres processus peuvent être utilisés y compris les processus adaptatifs (voir [Annexe B](#)).

Le traitement FTP peut exiger une capacité de calcul rapide et une capacité de mémoire importante pour traiter la grande quantité de données de l'acquisition FMC. D'autres traitements peuvent être appliqués qui nécessitent une capacité de mémoire plus petite (par exemple, basés sur l'imagerie par émission d'ondes planes, PWI).

### 8.2 Appareillage

Les appareils FMC/FTP peuvent afficher des images du même type que les appareils multiéléments conventionnels (représentation de type B, représentation de type C, représentation de type D), mais ils peuvent aussi fournir d'autres types d'images.

L'appareil de contrôle par ultrasons utilisé pour les contrôles par la technique FMC/FTP doit être conforme aux exigences de l'ISO 18563-1, lorsqu'applicable.

L'appareil de contrôle par ultrasons doit pouvoir acquérir une matrice intégrale ou partielle et être en mesure de la traiter lui-même ou de la transmettre à un ordinateur pour post-traitement. Il est recommandé que la longueur acquise du signal ultrasonore de type A soit suffisante, compte tenu du mode de reconstruction qui sera traité ou post-traité. Il est recommandé que la bande passante du système ultrasonore soit suffisante pour recevoir des signaux d'au moins deux fois la fréquence centrale du transducteur, et que les filtres passe-haut et passe-bas soient réglés à des valeurs appropriées, par exemple passe-haut ne dépassant pas la moitié de la fréquence centrale et passe-bas réglé à au moins deux fois la fréquence centrale. Les valeurs spécifiques choisies pour ces paramètres, le cas échéant, doivent être explicitement spécifiées dans le mode opératoire écrit.

Les données visualisées après un traitement FTP sont généralement une zone d'intérêt (ROI) qui est un maillage de pixels où chaque pixel représente l'amplitude calculée (voir [4.2](#) et l'[Annexe B](#)). Les maillages sont généralement réguliers, par exemple rectangulaires, mais peuvent être de formes arbitraires (même en 3D). L'usage de maillages réguliers est généralement préférable (par exemple dans un souci d'optimisation afin d'augmenter le nombre d'images par seconde).

L'espacement du maillage doit être choisi suffisamment faible pour pouvoir détecter les discontinuités pertinentes. La résolution spatiale minimale des points de données dans l'image (c'est-à-dire l'espacement des pixels) doit être choisie de sorte que l'amplitude d'un réflecteur de référence soit stable à l'intérieur d'une tolérance spécifiée pour de faibles écarts dans la position du traducteur. L'[Annexe C](#) contient des recommandations relatives à la validation de la stabilité de l'amplitude.

### 8.3 Traducteurs

Tout traducteur linéaire ou matriciel peut être utilisé pour l'acquisition FMC, mais le présent document se limite à l'utilisation d'un traducteur multiéléments linéaire. Les réseaux ultrasonores utilisés pour les contrôles par la technique FMC/FTP doivent être conformes aux exigences de l'ISO 18563-2.

Le traitement FTP exige la connaissance de la position des éléments par rapport à l'objet contrôlé, et les détails de la ligne à retard ou du sabot, afin de calculer les temps de vol associés aux modes de reconstruction.

Il est possible d'utiliser des traducteurs en contact direct avec l'objet contrôlé, mais aussi des lignes à retard, des sabots d'angle ou l'immersion en fonction de l'application. La connaissance précise des caractéristiques de la ligne à retard ou du sabot est requise, comprenant le type, les dimensions, l'angle et la vitesse de l'onde ultrasonore.

Afin d'obtenir des images de bonne qualité, il convient de prendre en compte les propriétés suivantes du traducteur multiéléments:

- a) un pas suffisamment faible pour éviter le repliement spatial;
- b) des éléments très amortis pour diminuer la longueur du train d'ondes ultrasonores;
- c) des éléments suffisamment petits pour éviter une trop grande directivité;
- d) une ouverture et une élévation appropriées pour permettre l'imagerie à une certaine distance du traducteur, car l'algorithme FTP donne des résultats optimaux dans le champ proche du traducteur;
- e) des dimensions optimisées du sabot en vue de son efficacité.

En règle générale, ces exigences sont satisfaites par un traducteur ayant une bande passante relative > 60 % et un pas d'éléments inférieur à la moitié de la longueur d'onde telle que déterminée dans le sabot (ou dans la pièce faisant l'objet du contrôle lorsqu'aucun sabot n'est utilisé).

Il convient que le nombre d'éléments morts de l'ouverture active soit inférieur ou égal à 1 sur 16 et les éléments morts ne sont pas autorisés à être adjacents. Si ce critère n'est pas satisfait, le traducteur peut néanmoins être utilisé à condition de fournir une justification technique appropriée.

### 8.4 Mécanismes de balayage

Afin d'obtenir des images cohérentes (des données recueillies), des mécanismes de guidage peuvent être utilisés et un ou des encodeurs doivent être utilisés.

Le réglage du pas de balayage dans la direction de balayage principale dépend de l'épaisseur à examiner. Les valeurs recommandées sont données dans le [Tableau 2](#).

D'autres valeurs peuvent être utilisées à condition qu'une justification technique appropriée soit fournie.

Les réglages du pas de balayage perpendiculaire à la direction de balayage principale doivent être choisis, lorsqu'applicable, de manière à assurer la couverture du volume à contrôler.

Une fonction supplémentaire des mécanismes de balayage est de fournir des informations sur la position afin de permettre la génération d'images FMC/FTP liées à la position.

**Tableau 2 — Valeurs du pas de balayage dans la direction de balayage principale en fonction de l'épaisseur**

Dimensions en millimètres

| Épaisseur<br><i>t</i> | Pas de balayage |
|-----------------------|-----------------|
| $t \leq 6$            | 0,5             |
| $6 < t \leq 10$       | 1               |
| $10 < t \leq 150$     | 2               |
| $t > 150$             | 3               |

Les mécanismes de balayage de la technique FMC/FTP peuvent être motorisés ou manuels. Ils doivent être guidés par des mécanismes de guidage appropriés. Les tolérances pour la position du traducteur dépendent de l'application et doivent être indiquées dans le mode opératoire de contrôle écrit.

La vitesse de balayage doit être appropriée à l'appareillage utilisé afin d'éviter toute perte de données.

### 8.5 Fréquence d'échantillonnage

Il convient que la fréquence d'échantillonnage du signal de type A soit égale à au moins 5 fois la fréquence centrale du traducteur. Si une interpolation (sur-échantillonnage) des signaux de type A est utilisée, la fréquence d'échantillonnage matérielle peut être à minima égale à trois fois la fréquence de coupure supérieure (-6 dB) du traducteur.

La limite théorique selon le théorème d'échantillonnage de Nyquist est le double de la fréquence supérieure du signal, mais il convient de prévoir une marge supplémentaire pour les filtres non idéaux avant conversion analogique-numérique.

### 8.6 Traitement des données

Le traitement des données des signaux de type A basées sur le temps de vol (depuis l'émetteur jusqu'au récepteur en passant par un point de l'image) est généralement appelé imagerie. C'est la base de la FTP. En option, les algorithmes de traitement peuvent également prendre en compte des paramètres physiques pour améliorer la qualité de l'image résultante, comme la directivité, la divergence, l'atténuation, la réflectivité, les coefficients de transmission et l'apodisation.

Une description détaillée de la FTP est donnée en 4.2 et à l'Annexe B. Des descriptions de technologies associées sont données dans l'ISO 23243 et à l'Annexe B, par exemple l'échantillonnage multiéléments (SPA), l'imagerie par émission d'ondes planes (PWI) et l'extrapolation inverse de champs d'ondes (IWEX).

Une fois que les données ont été traitées sous forme d'une image, un traitement d'image supplémentaire peut être appliqué ultérieurement pour une optimisation/visualisation plus poussée.

### 8.7 Évaluation des indications FTP

Les méthodes de dimensionnement recommandées sont:

- a) l'exploitation de signaux diffusés (diffractés) à partir de différents points de la discontinuité et la déduction de son étendue à partir des images des signaux diffractés;
- b) l'utilisation de la chute d'amplitude par rapport à la réponse maximale de l'indication FTP pour établir l'étendue de la discontinuité.

En fonction du cas d'application, d'autres méthodes de dimensionnement peuvent être utilisées.

## 9 Avantages des différents modes de reconstruction

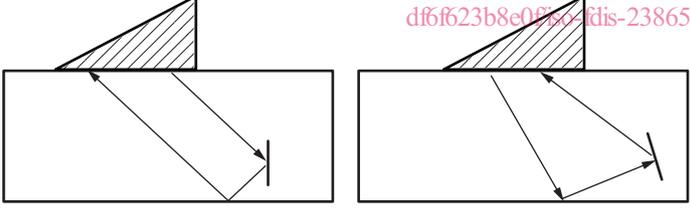
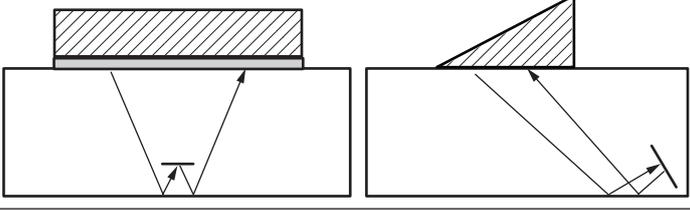
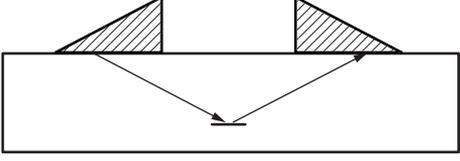
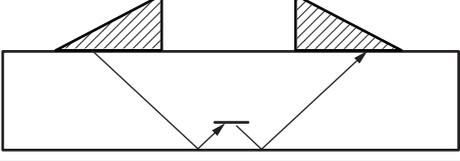
En incluant des réflexions sur les faces de la pièce dans le trajet de l'émetteur au récepteur, les discontinuités présentes dans la ROI peuvent être imagées dans différentes directions en utilisant à la fois des signaux de réflexion et de diffraction, ce qui peut permettre d'améliorer les performances et la fiabilité du contrôle.

Les discontinuités de type volumique entraînant une réflexion (dans plusieurs directions) et les bords des discontinuités entraînant une diffraction (dans plusieurs directions) sont généralement détectés avec chaque mode de reconstruction qui couvre la zone de la discontinuité.

En général, les discontinuités ayant une orientation (discontinuités de type plan) sont plus facilement détectées par des modes de reconstruction (voir [Tableau 3](#)) où l'angle d'incidence et l'angle de réflexion sur la discontinuité sont:

- a) (presque) perpendiculaires à l'orientation de la discontinuité;
- b) (presque) symétriques à la direction normale de la discontinuité; ou
- c) selon la loi de Snell, si la conversion de mode se produit au niveau de la discontinuité.

**Tableau 3 — Avantages des différents modes de reconstruction**

| Mode de reconstruction                                                              | Orientation de la discontinuité pour la réflexion                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>Discontinuités avec une orientation (presque) horizontale.</p> <p>Discontinuités avec d'autres orientations en fonction des angles d'incidence et de réflexion.</p> |
|  | <p>Discontinuités avec une orientation (presque) verticale.</p> <p>Discontinuités avec d'autres orientations si la conversion de mode se produit dans le trajet.</p>   |
|  | <p>Discontinuités avec une orientation (presque) horizontale.</p> <p>Discontinuités avec d'autres orientations en fonction des angles d'incidence et de réflexion.</p> |
|  | <p>Discontinuités avec une orientation (presque) horizontale.</p>                                                                                                      |
|  | <p>Discontinuités avec une orientation (presque) horizontale.</p>                                                                                                      |

## 10 Préparation avant contrôle

### 10.1 Généralités

L'objectif du contrôle doit être défini par des spécifications. Le volume à examiner doit être déterminé sur cette base.

La température de surface de l'objet contrôlé doit être comprise entre 0 °C et 50 °C. Pour les températures en dehors de cette plage, l'adéquation de l'appareillage et du couplant doit être vérifiée.

Les approches d'imagerie telles que la FTP exigent la connaissance d'un certain nombre de paramètres liés au système de mesure, au réseau, à la géométrie de la configuration et aux propriétés du matériau. Le présent article fournit un aperçu des paramètres jugés pertinents pour l'imagerie.

### 10.2 Vérification du système

La vérification/configuration du système doit tenir compte des éléments suivants:

- a) la sensibilité des éléments, les éléments morts, et l'équilibrage de l'amplitude peut être appliquée si nécessaire;
- b) les paramètres du sabot (vitesse, angle, dimensions).

Toute correction relative à ces éléments doit être consignée dans le rapport tel que spécifié dans le mode opératoire de contrôle.

Les éléments minimaux à vérifier sont énumérés ci-dessous:

- a) la vérification de l'étalonnage;
- b) la vérification de la couverture;
- c) la vérification et les réglages de la sensibilité;
- d) les réglages à prendre en compte pour obtenir un niveau de détection approprié;
- e) le dimensionnement/la caractérisation (surfaces, volume);
- f) les éléments à définir dans un mode opératoire;
- g) les blocs d'étalonnage, de référence et de qualification;
- h) les éléments à définir dans un rapport.

Il peut être nécessaire de traiter d'autres particularités selon les cas d'application.

### 10.3 Correction de la sensibilité

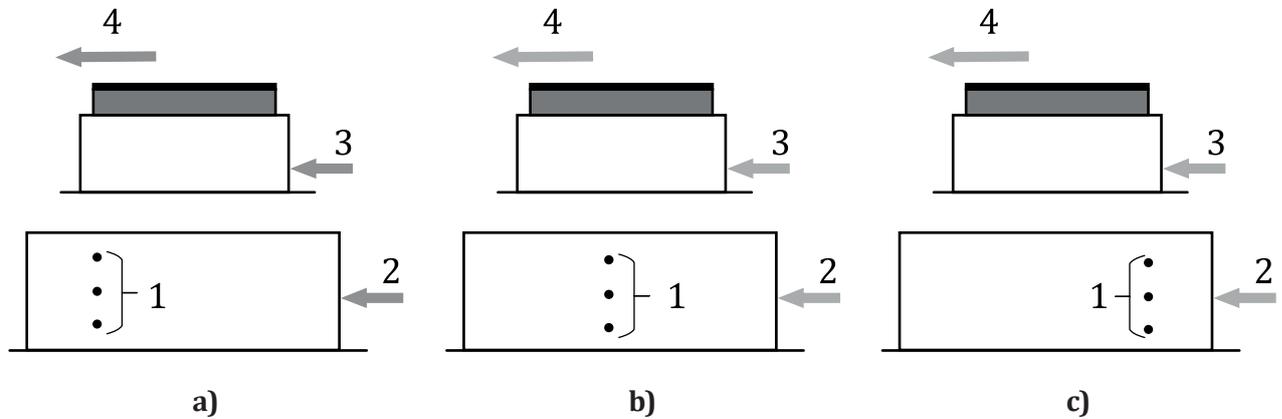
Pour les applications générales, la sensibilité peut être corrigée en utilisant des SDH (trous percés latéralement) de 3 mm de diamètre, par exemple dans un bloc d'étalonnage (par exemple conformément à l'ISO 19675).

Si l'application l'exige et si le traitement ne tient pas compte de tous les effets de propagation, une correction d'amplitude peut être appliquée. L'étalonnage de l'amplitude pour la FTP est similaire au gain corrigé en fonction du temps (TCG) ou au gain corrigé en fonction de l'angle (ACG) comme dans l'étalonnage de la technique PAUT: le traducteur est déplacé sur un ensemble de SDH situés à différentes profondeurs dans un bloc de référence comme défini dans le [Tableau 4](#).

NOTE Corrections possibles de sensibilité à l'aide de la simulation.

L'amplitude sur chaque SDH est enregistrée pour une ligne horizontale dans la ROI, sur toute sa largeur, en déplaçant le traducteur au-dessus des SDH comme indiqué à la [Figure 2](#). Une correction est ensuite

établie en déterminant le gain nécessaire pour ajuster la réponse de chaque SDH au niveau désiré, le long de la ligne horizontale dans la ROI correspondant à la position de chaque SDH. Les niveaux de gain pour les points dans la direction verticale, entre les lignes horizontales correspondant aux SDH, sont déterminés par interpolation.



**Légende**

- 1 trous percés latéralement
- 2 ROI
- 3 transducteur
- 4 déplacement du transducteur

**Figure 2 — Représentation du déplacement des transducteurs sur les SDH pour la correction de la sensibilité**

Tout bloc de référence ayant un nombre suffisant de SDH répartis de manière égale sur la hauteur de la ROI, conformément au [Tableau 4](#), peut être utilisé.

**Tableau 4 — Nombre de SDH à utiliser en fonction de la hauteur de la ROI**

| Hauteur de la ROI, $h$<br>mm | Nombre minimal de SDH | Différence de profondeur entre 2 SDH adjacents |
|------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|
| $\leq 10$                    | 1                     | NA                                             |
| $10 < h \leq 40$             | 3                     | NA                                             |
| $> 40$                       | NA                    | $< 20 \% h$                                    |

**10.4 Réglage de la sensibilité**

Si exigé, la sensibilité du contrôle doit être réglée ou vérifiée sur un réflecteur de référence représentatif des discontinuités à détecter.

Si plusieurs modes de reconstruction (TTT, TTL, etc.) sont utilisés, il est nécessaire d'étalonner la sensibilité individuellement. Pour les situations en service, cela peut s'avérer difficile sans une pièce de référence appropriée. En fonction de l'application, les indications FTP résultant de la géométrie ou du niveau de bruit de l'objet contrôlé peuvent également être utilisés.

**10.5 Vérification du maillage**

Des recommandations pour la vérification du maillage sont données à l'[Annexe C](#).