
Céramiques techniques (céramiques avancées, céramiques techniques avancées) — Propriétés mécaniques des céramiques composites à température ambiante sous air à pression atmosphérique — Détermination des propriétés élastiques par méthode ultrasonore

Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Mechanical properties of ceramic composites at ambient temperature in air atmospheric pressure — Determination of elastic properties by ultrasonic technique

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 18610:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/14f53691-e661-4290-92df-affb3a53df98/iso-18610-2016>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2016, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Principe	4
5 Signification et utilisation	6
6 Matériel d'essai	7
6.1 Réservoir d'immersion avec dispositif de mesure de la température.....	7
6.2 Support des transducteurs et de l'objet d'essai.....	7
6.3 Transducteurs.....	7
6.4 Générateur d'impulsions.....	7
6.5 Système d'enregistrement et d'affichage des signaux.....	7
7 Objet d'essai	7
8 Préparation des objets d'essai	8
9 Mode opératoire de l'essai	8
9.1 Choix de la fréquence.....	8
9.2 Réglage de la température d'essai.....	9
9.3 Essai témoin sans objet d'essai.....	9
9.4 Mesure en présence de l'objet d'essai.....	9
9.4.1 Détermination de la masse volumique apparente et de l'épaisseur.....	9
9.4.2 Montage de l'objet d'essai.....	9
9.4.3 Acquisition de différents angles d'incidence.....	9
10 Calcul	10
10.1 Retard.....	10
10.2 Calcul des vitesses de propagation.....	10
10.3 Calcul de l'angle réfracté, θ_r	10
10.4 Identification des constantes élastiques, (C_{ij})	11
10.4.1 Considérations fondamentales.....	11
10.4.2 Calcul de C_{33}	12
10.4.3 Calcul de C_{22} , C_{23} et C_{44}	12
10.4.4 Calcul de C_{11} , C_{13} et C_{55}	12
10.4.5 Calcul de C_{12} et C_{66}	13
10.5 Tracés polaires des courbes de vitesse.....	14
10.6 Calcul de l'écart quadratique et de l'intervalle de confiance.....	14
10.7 Calcul des constantes de l'ingénieur.....	15
11 Validité de l'essai	15
11.1 Mesures.....	15
11.2 Critère de validité pour la fiabilité des composantes (C_{ij}) de la matrice de rigidité.....	15
12 Rapport d'essai	15
Annexe A (informative) Exemple de présentation des résultats pour un matériau avec symétrie orthotrope	17
Bibliographie	19

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/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 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.html

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 206, *Céramiques techniques*.

Céramiques techniques (céramiques avancées, céramiques techniques avancées) — Propriétés mécaniques des céramiques composites à température ambiante sous air à pression atmosphérique — Détermination des propriétés élastiques par méthode ultrasonore

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie une méthode ultrasonore pour déterminer les composantes du tenseur d'élasticité des composites à matrice céramique à température ambiante. Les modules de Young, les modules de cisaillement et les coefficients de Poisson peuvent être déterminés à partir des composantes du tenseur d'élasticité.

Le présent document s'applique aux composites à matrice céramique à renfort fibreux continu unidirectionnels (1D), bidirectionnels (2D) et tridirectionnels ($\times D$, avec $2 < \times \leq 3$), qui ont au minimum une symétrie orthotrope et dont les axes de symétrie sont connus.

Cette méthode est uniquement applicable lorsque la longueur d'onde ultrasonore utilisée est supérieure à l'épaisseur du volume élémentaire représentatif, ce qui impose une limite supérieure à la gamme de fréquences des transducteurs utilisés.

NOTE Les propriétés obtenues au moyen de cette méthode peuvent ne pas être comparables avec les modules obtenus par les méthodes décrites dans l'ISO 15733, l'ISO 20504 et l'EN 12289.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/14f53691-e661-4290-92df-iso-18610:2016>

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/14f53691-e661-4290-92df-aff3a53df98/iso-18610-2016>

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 3611, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Équipement de mesurage dimensionnel: Micromètres d'extérieur — Caractéristiques de conception et caractéristiques métrologiques*

ISO/IEC 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

EN 1389, *Céramiques techniques avancées — Céramiques composites — Propriétés physiques — Détermination de la masse volumique et de la porosité apparente*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans le CEN/TR 13233 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC gèrent des bases de données terminologiques destinées à être utilisées pour la normalisation disponibles aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: <http://www.electropedia.org/>.
- Plateforme de consultation en ligne de l'ISO: <http://www.iso.org/obp>.

3.1 relations contrainte-déformation pour un matériau orthotrope

comportement anisotrope élastique d'un corps solide homogène décrit par le tenseur d'élasticité du quatrième ordre (C_{ijkl}), représenté en notation abrégée par une matrice carrée symétrique (6 × 6)

Note 1 à l'article: Si le matériau présente au moins une symétrie orthotrope, son comportement élastique est entièrement caractérisé par neuf composantes de rigidité indépendantes (C_{ij}) de la matrice de rigidité (C_{ij}), qui relie les contraintes aux déformations, ou, de façon équivalente, par neuf composantes de souplesse indépendantes (S_{ij}) de la matrice de souplesse (S_{ij}), qui relie les déformations aux contraintes. Les matrices de rigidité et de souplesse sont l'inverse l'une de l'autre.

Si le système de coordonnées de référence est pris selon les axes de symétrie, la matrice de rigidité (C_{ij}) et la matrice de souplesse (S_{ij}) peuvent être écrites comme suit:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix}$$

Note 2 à l'article: Pour les symétries de niveau supérieur à la symétrie orthotrope, les matrices (C_{ij}) et (S_{ij}) ont la même forme que ci-dessus. Seul le nombre de composantes indépendantes diminue.

3.2 constantes de l'ingénieur

composantes de la matrice de souplesse d'un matériau orthotrope exprimées en termes de constantes de l'ingénieur:

$$[S_{ij}] = \begin{bmatrix} 1/E_{11} & -\nu_{21}/E_{22} & -\nu_{31}/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{12}/E_{11} & 1/E_{22} & -\nu_{32}/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{13}/E_{11} & -\nu_{23}/E_{22} & 1/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{13} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{12} \end{bmatrix}$$

- où
- E_{11}, E_{22} et E_{33} sont les modules d'élasticité dans les directions 1, 2 et 3 respectivement;
- G_{12}, G_{13} et G_{23} sont les modules de cisaillement dans les plans correspondants;
- $\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$ sont les coefficients de Poisson correspondants.

3.3 angle d'incidence

 θ_i

angle formé par la direction 3 perpendiculaire à la face avant de l'éprouvette et la direction n_i de l'onde incidente

Note 1 à l'article: Voir [Figures 1](#) et [2](#).

3.4 angle réfracté

 θ_r

angle formé par la direction 3 perpendiculaire à la face avant de l'éprouvette et la direction n de la propagation de l'onde à l'intérieur de l'éprouvette

Note 1 à l'article: Voir [Figures 1](#) et [2](#).

3.5 angle azimutal

 ψ

angle formé par le plan d'incidence $(3, n_i)$ et le plan $(2, 3)$ où n_i correspond au vecteur orienté suivant l'onde de plan incident et la direction 2 correspond à l'un des axes de symétrie du matériau

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

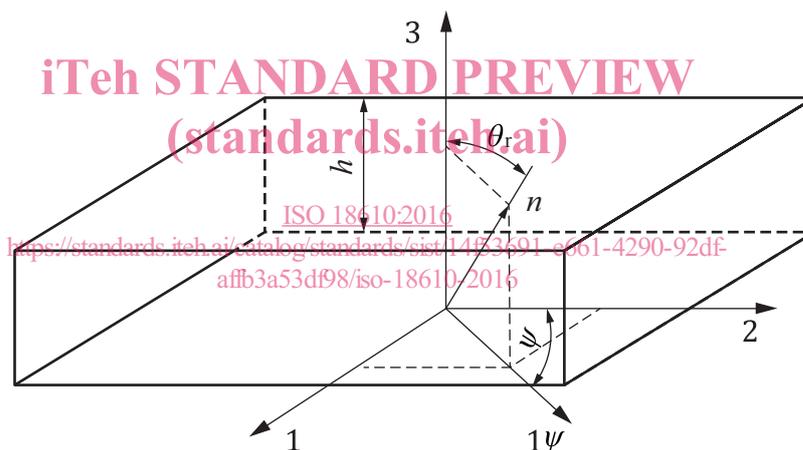


Figure 1 — Définition des angles

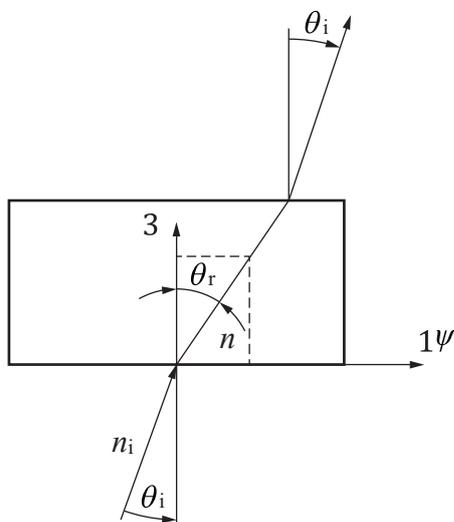


Figure 2 — Propagation dans le plan d'incidence

3.6

premier angle critique

θ_c
angle d'incidence θ_i qui génère un angle à 90 degrés de l'angle de réfraction d'une onde quasi longitudinale

3.7

vecteur unitaire

n
vecteur de longueur 1 orienté suivant la direction de propagation de l'onde de plan incident à l'intérieur de l'éprouvette, ses composantes étant n_k ($k = 1, 2, 3$):

$$n_1 = \sin \theta_r \sin \psi$$

$$n_2 = \sin \theta_r \cos \psi$$

$$n_3 = \cos \theta_r$$

Note 1 à l'article: Voir [Figures 1](#) et [2](#).

3.8

vitesse de propagation

$V(n)$
vitesse de phase d'une onde plane à l'intérieur de l'éprouvette en fonction du vecteur unitaire n (c'est-à-dire en fonction de ψ et θ_r)

Note 1 à l'article: V_0 est la vitesse de propagation dans le liquide de couplage.

3.9

retard

$\delta t(n)$
différence entre le temps de vol de l'onde lorsque l'éprouvette est en place et le temps de vol de l'onde dans le liquide de couplage en l'absence de l'éprouvette dans la même configuration des transducteurs, en fonction du vecteur unitaire n

3.10

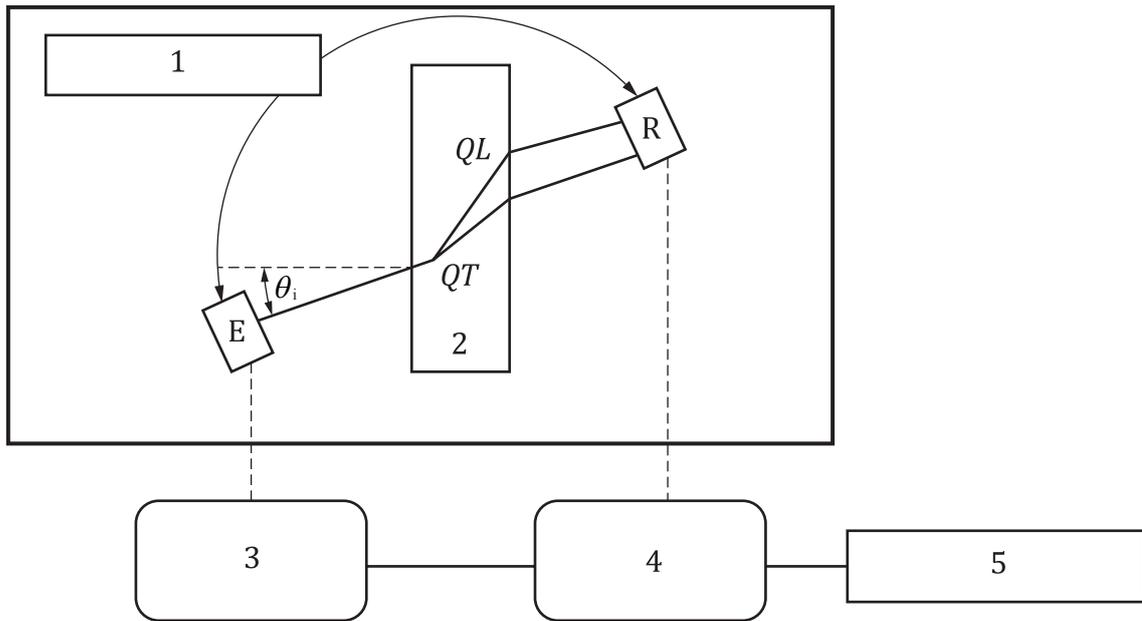
masse volumique

ρ
rapport de la masse du matériau sans porosité à son volume total incluant la porosité

4 Principe

La détermination des propriétés élastiques consiste à calculer les coefficients de l'équation de la propagation d'une onde plane élastique, à partir d'un ensemble de mesures de la vitesse correctement choisies selon des directions connues.

Une éprouvette mince à faces parallèles est immergée dans un liquide de couplage acoustique (par exemple de l'eau), voir [Figure 3](#). L'éprouvette est placée entre un émetteur (T) et un récepteur (R) qui sont reliés rigidement l'un à l'autre et ont deux degrés de liberté en rotation. En utilisant un traitement approprié du signal, la vitesse de propagation de chaque onde dans l'éprouvette est calculée.



Légende

- 1 entraînement en rotation
- 2 objet d'essai
- 3 générateur d'impulsions
- 4 oscilloscope numérique
- 5 micro-ordinateur

STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

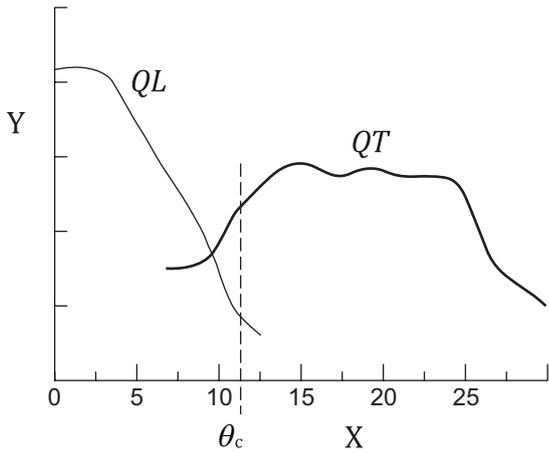
Figure 3 — Dispositif d'essai ultrasonore

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/14f53691-e661-4290-92df-aff3a53df98/iso-18610-2016>

Selon l'angle d'incidence, l'onde créée par l'impulsion envoyée par l'émetteur T est réfractée dans le matériau en une (une onde quasi longitudinale QL , ou une onde quasi transversale QT), deux ($QL + QT$ ou deux ondes quasi transversales QT_1, QT_2) ou trois ondes de volume ($QL + QT_1 + QT_2$) qui se propagent dans le solide à différentes vitesses et dans différentes directions.

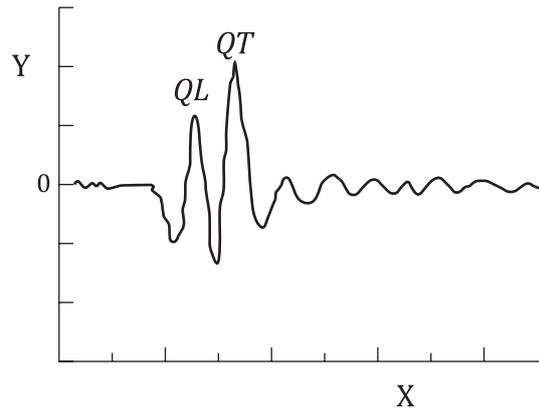
Le récepteur R recueille une, deux ou trois impulsions correspondant à chacune de ces ondes.

La différence entre le temps de vol des diverses ondes et le temps de vol de l'impulsion émise dans le liquide de couplage en l'absence de l'objet d'essai est mesurée. La méthode d'évaluation est fondée sur la mesure de la différence des temps de vol de l'onde quasi longitudinale et d'une onde quasi transversale ou des deux ondes quasi transversales, et est uniquement valide lorsque les ondes QL et QT sont séparées de façon appropriée, voir [Figure 4](#).



Légende

Y amplitude
X angle d'incidence



Légende

Y amplitude
X temps

NOTE Les deux ondes *QL* et *QT* sont présentes et peuvent être distinguées dans la zone positive mais se recouvrent légèrement dans la zone négative.

a) Amplitude des ondes *QL* et *QT* en fonction de l'angle d'incidence avec recouvrement dans la zone de θ_c

b) Oscillogramme temporel des ondes *QL* et *QT* à un angle d'incidence, θ_i , proche de l'angle critique, θ_c

Figure 4 — Exemple de recouvrement partiel des ondes *QL* et *QT* à un angle d'incidence θ_i

À partir des vitesses de propagation, les composantes du tenseur d'élasticité sont obtenues par une analyse de régression des moindres carrés qui réduit au minimum les erreurs résiduelles des équations de la propagation des ondes.

Les modules de Young, les modules de cisaillement et les coefficients de Poisson sont déterminés à partir de ces composantes.

5 Signification et utilisation

Deux constantes seulement (coefficients de Lamé, module de Young et coefficient de Poisson, modules de Young et de cisaillement, vitesses d'ondes longitudinales et transversales) suffisent pour décrire complètement le comportement élastique d'un corps solide isotrope. Lorsque l'anisotropie, qui est une caractéristique spécifique des matériaux composites, doit être prise en compte, il est nécessaire d'utiliser un tenseur d'élasticité comportant un plus grand nombre de coefficients indépendants. Alors que les méthodes mécaniques conventionnelles ne permettent qu'une identification partielle de l'élasticité des corps anisotropes, les méthodes ultrasonores permettent une évaluation plus exhaustive des propriétés élastiques de ces matériaux, en particulier les modules d'élasticité transversale et les modules de cisaillement pour les éprouvettes minces.

La réussite de l'application de la méthode dépend fondamentalement d'un choix approprié de la fréquence centrale des traducteurs. La fréquence doit être suffisamment basse pour que la mesure soit représentative de la réponse du volume élémentaire, mais en même temps suffisamment haute pour obtenir une séparation entre les ondes *QL* et *QT*.

La détermination des propriétés élastiques par la méthode ultrasonore décrite dans la présente norme est fondée sur une mesure non destructive et dynamique des vitesses de propagation des ondes. La détermination des valeurs des modules de Young, des modules de cisaillement et des coefficients de Poisson nécessite une seule éprouvette.

6 Matériel d'essai

6.1 Réservoir d'immersion avec dispositif de mesure de la température

Il convient que la température du liquide de couplage dans le réservoir d'immersion reste constante à $\pm 0,5$ °C près pendant toute la durée de l'essai.

Le dispositif de mesure de la température doit être capable de mesurer la température à 0,5 °C près.

Cette exigence résulte du fait que la vitesse de propagation de l'onde dans le liquide de couplage est très sensible à la température.

6.2 Support des transducteurs et de l'objet d'essai

Le support des transducteurs ultrasonores ou le support de l'objet d'essai doit permettre une rotation couvrant la plage des angles d'incidence θ_i entre 0° et 90°. De plus, il doit permettre des réglages discrets de l'angle azimutal à $\pm 0^\circ$, 45° et 90°. L'exactitude de la mesure des angles θ_i et ψ doit être meilleure que 0,1° et 1°, respectivement.

Les transducteurs doivent être montés de façon que leur position relative reste fixe durant l'essai.

6.3 Transducteurs

Des transducteurs piézoélectriques à large bande adaptés au liquide de couplage et capables de produire des ondes ultrasonores longitudinales doivent être utilisés. Deux transducteurs présentant des spécifications similaires (par exemple fréquence centrale, largeur de bande) doivent être utilisés, l'un comme émetteur, l'autre comme récepteur.

6.4 Générateur d'impulsions

Le générateur d'impulsions doit être choisi en fonction des caractéristiques des transducteurs.

Il doit pouvoir générer des impulsions sinusoïdales de courte durée ($< 1 \mu\text{s}$), d'une tension suffisante pour générer une impulsion mécanique par le transducteur. La fréquence de l'impulsion d'excitation doit être choisie tel que décrit en 9.1.

Comparé au temps de vol enregistré, l'intervalle entre des impulsions consécutives doit être long, un intervalle type étant supérieur à 1 ms, afin que tous les signaux de l'impulsion précédente se dissipent avant la production de la nouvelle impulsion.

6.5 Système d'enregistrement et d'affichage des signaux

Utiliser tout système, par exemple un oscilloscope numérique, ayant une fréquence d'échantillonnage minimale de 100 MHz qui permet d'enregistrer les signaux transmis et reçus. Le système d'enregistrement des signaux est conçu pour permettre de lire à l'écran les impulsions émises et les impulsions détectées sur la même base temporelle et pour déterminer le laps de temps écoulé entre ces deux événements.

7 Objet d'essai

Le choix de la géométrie de l'objet d'essai dépend du matériau et de la structure du renfort. L'épaisseur doit être suffisante pour permettre la séparation des échos des ondes quasi longitudinale QL et