
**Essais non destructifs — Contrôle par
émission acoustique — Étalonnage
primaire des transducteurs**

*Non-destructive testing — Acoustic emission inspection — Primary
calibration of transducers*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 12713:1998

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bceaa972-65f9-4efd-9713-
bfc6465a2fb/iso-12713-1998](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bceaa972-65f9-4efd-9713-bfc6465a2fb/iso-12713-1998)



Sommaire

Page

1	Domaine d'application	1
2	Références normatives	1
3	Définitions	2
4	Symboles et abréviation	2
5	Prescriptions générales	2
6	Description de l'appareillage type	4
7	Traitement d'étalonnage des données	8
8	Analyse des erreurs	11
9	Résultats d'étalonnage types	12

Annexe

A	Bibliographie	24
---	---------------------	----

ITeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 12713:1998

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bceaa972-65f9-4efd-9713-f3fc6465a2fb/iso-12713-1998>

© ISO 1998

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse
Internet iso@iso.ch

Imprimé en Suisse

Avant-propos

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

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

La Norme internationale ISO 12713 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 135, *Essais non destructifs*, sous-comité SC 3, *Moyens acoustiques*.

<https://standards.iso.org/iso/12713-1998>

L'annexe A de la présente Norme internationale est donnée uniquement à titre d'information.

Introduction

La méthode d'émission acoustique des essais non destructifs constitue l'une des méthodes utilisées par le SC 3, relatives aux méthodes acoustiques du TC 135 en ce qui concerne les essais non destructifs. Les normes relatives aux procédures et aux prescriptions générales sont nécessaires afin de garantir des résultats quantitatifs et une large applicabilité. La présente Norme internationale traite d'une méthode d'étalonnage primaire des transducteurs d'émission acoustique. Il est prévu que la présente Norme internationale sera accompagnée d'autres normes de détermination de la sensibilité des transducteurs et de la réponse en phase. La présente Norme internationale a tout d'abord été présentée par les États-Unis lors de la cinquième réunion de l'ISO/TC 135/SC 3 à Berlin en avril 1989.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 12713:1998

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bceaa972-65f9-4efd-9713-f3fc6465a2fb/iso-12713-1998>

Essais non destructifs — Contrôle par émission acoustique — Étalonnage primaire des transducteurs

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie une méthode d'étalonnage absolu des transducteurs d'émission acoustique. L'objectif de la présente Norme internationale consiste à établir une uniformité des essais d'émission acoustique, afin de constituer une base de corrélation des données, et de permettre l'interprétation des résultats obtenus par différents laboratoires à différentes périodes.

Une méthode reconnue d'étalonnage des transducteurs d'émission acoustique doit être spécifiée afin de caractériser leur comportement.

La présente Norme internationale spécifie une méthode d'étalonnage primaire des transducteurs d'émission acoustique en tant que récepteurs d'ondes élastiques à la surface d'un milieu solide. L'étalonnage produit la réponse en fréquence d'un transducteur par rapport aux ondes normalement rencontrées en émission acoustique. La réponse en tension du transducteur est déterminée à des intervalles de fréquence discrète compris approximativement entre 10 kHz et 1 MHz. L'entrée constitue un déplacement dynamique bien défini de la surface de montage. Les unités d'étalonnage sont les tensions de sortie par entrée mécanique unitaire (déplacement, vitesse, ou accélération). La présente Norme internationale s'applique aux transducteurs étalons secondaires ainsi qu'aux transducteurs d'application en émission acoustique.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ASTM E 114-95, *Pratique normalisée pour le contrôle ultrasonore par réflexion à faisceau droit par la méthode par contact.*

ASTM E 494-95, *Pratique normalisée pour le mesurage de la vitesse des ultrasons dans les matériaux.*

ASTM E 610-82¹⁾, *Définitions normalisées des termes relatifs à l'émission acoustique.*

ASTM E 650-85(1992)e1, *Guide normalisé pour le montage des capteurs piézoélectrique de contact d'émission acoustique.*

BRECKENRIDGE, F.R. and GREENSPAN, M. «Surface-Wave Displacement: Absolute Measurements Using a Capacitive Transducer», *Journal Acoustic Society of America*, Vol. 69, pp.1177-1185.

—227—

1) Norme retirée.

3 Définitions

Un glossaire ISO des termes utilisés en émission acoustique n'est pas encore disponible. Au vu de cette situation, et pour les besoins de la présente Norme internationale, la norme ASTM E 610 peut être utilisée comme guide.

4 Symboles et abréviation

4.1 Symboles

Symbole	Terme	Unité
a	rayon utile de la surface du capteur	m
A	sensibilité absolue du transducteur étalon (en unités de tension par déplacement libre)	V·m ⁻¹
c	vitesse de Rayleigh	m·s ⁻¹
$D(f_m)$	réponse spectrale à valeur complexe du transducteur soumis à l'essai	1
f	fréquence	MHz
f_m	$m^{\text{ième}}$ fréquence	MHz
j	indice 0, 1, 2, . . . , $n-1$	1
J_l	fonction de Bessel de premier ordre	1
k	nombre d'ondes circulaires	m ⁻¹
n	nombre total d'échantillons dans une voie	1
r_m	$m^{\text{ième}}$ valeur de la grandeur de $D(f_m)$	1
s_j	$j^{\text{ième}}$ valeur d'échantillonnage de la voie étalon	V
$S(f_m)$	spectres à valeur complexe du signal étalon	1
T	temps d'enregistrement total équivalent à $n\Delta t$	μs
u_j	$j^{\text{ième}}$ valeur d'échantillonnage de la voie inconnue	V
$U(f_m)$	spectres à valeur complexe du signal inconnu	1
Δt	intervalle de la durée d'échantillonnage	μs
θ_m	$m^{\text{ième}}$ valeur de la phase de $D(f_m)$	1

4.2 Abréviation

EA: émission acoustique

5 Prescriptions générales

5.1 Transducteurs de déplacement

La présente méthode s'applique à l'étalonnage absolu des transducteurs de déplacement normaux à utiliser comme étalons secondaires pour l'étalonnage des transducteurs d'émission acoustique utilisés pour l'évaluation non destructive. Dans ce but, il convient que l'étalon de travail soit de haute fidélité et qu'il se comporte de manière appropriée et bien comprise. Lorsque ces caractéristiques peuvent être établies, il convient que la précision établie s'applique sur la gamme de fréquences complète, jusqu'à 1 MHz.

NOTE — La précision établie s'applique uniquement lorsque l'étalon de travail retourne en régime de repos, suivant l'entrée transitoire, avant qu'une onde réfléchie à partir de la limite du bloc d'étalonnage retourne vers l'étalon de travail (environ 100 μ s). Cette condition est difficile à prouver pour les basses fréquences avec des périodes suivant l'ordre de la fenêtre temporelle.

5.2 Transducteurs d'émission acoustique

La présente méthode s'applique également à l'étalonnage des transducteurs d'émission acoustique utilisés pour l'évaluation non destructive. Le comportement de certains de ces transducteurs est moins bon que celui des dispositifs appropriés à un étalon de travail. La précision établie de ces dispositifs s'applique dans la gamme comprise entre 100 kHz et 1 MHz et avec une précision moindre inférieure à 100 kHz.

NOTE — Une difficulté primaire relative à l'étalonnage d'un dispositif de transduction mécanique/électrique consiste à déterminer l'entrée mécanique-dynamique du dispositif. À l'aide de cette procédure d'étalonnage, l'entrée dynamique peut être déterminée de deux manières différentes: calcul théorique et mesure avec un capteur de déplacement absolu.

5.3 Calcul théorique

La théorie d'élasticité a été utilisée pour calculer le déplacement dynamique de la surface d'un demi-espace infini dû à une fonction en échelon temporelle normale de points-forces. Les solutions proposées donnent le déplacement de tout point à la surface en fonction du temps, produisant une forme d'onde pour le déplacement appelé impulsion sismique de surface.

La présente méthode d'étalonnage utilise une approximation de laboratoire par rapport à cette solution théorique. Voir également références [1] et [2] dans l'annexe A. Le demi-espace est approché par un grand bloc métallique sous forme d'un cylindre circulaire et la fonction en échelon de points-forces est approchée encore davantage par la rupture d'un capillaire en verre contre la surface plane du bloc. Il convient de calculer le déplacement, établi en fonction du temps, pour l'emplacement du dispositif soumis à l'essai (sur la même surface de bloc que l'entrée). Il y a lieu d'effectuer ce calcul en utilisant une valeur mesurée de la force de fonction en échelon et les constantes élastiques déterminées par la vitesse des mesurages acoustiques du bloc.

5.4 Mesure du déplacement absolu

ISO 12713:1998

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bceaa972-65f9-4efd-9713-6060220012713-1998>

Une mesure absolue du déplacement de surface dynamique normal du bloc est nécessaire pour l'utilisation de cette méthode d'étalonnage. Le transducteur utilisé pour cette mesure est un transducteur étalon par rapport auquel est comparé le dispositif soumis à l'essai. Il convient que le transducteur étalon satisfasse ou dépasse la performance du transducteur capacitif décrit par Breckenridge et Greenspan (voir article 2). Les caractéristiques importantes du transducteur étalon comprennent une haute fidélité, une haute sensibilité et des caractéristiques de fonctionnement conduisant à un calcul théorique. Il convient également que le transducteur ne présente aucune charge dynamique considérable à la surface qu'il mesure.

Pour un étalonnage, le transducteur étalon et le dispositif à étalonner sont tous deux placés sur la même surface du bloc que l'entrée mécanique et se situent à des distances opposées équidistantes. Cette situation garantit que tous deux ont la même expérience du déplacement dans le temps. La comparaison de la sortie de l'étalon de travail ou du transducteur EA avec la sortie du transducteur étalon conduit à l'étalonnage du dispositif soumis à l'essai.

La présente méthode s'applique également à l'étalonnage des transducteurs d'émission acoustique utilisés pour l'évaluation non destructive. Le comportement de certains de ces transducteurs est moins bon que celui des dispositifs appropriés à un étalon de travail. La précision établie de ces dispositifs s'applique dans la gamme comprise entre 100 kHz et 1 MHz et avec une précision moindre inférieure à 100 kHz.

D'autres géométries relatives applicables à l'entrée et aux transducteurs sont possibles, mais il convient d'utiliser les résultats des autres géométries uniquement pour accompagner les résultats obtenus avec la «même géométrie de surface». Les ondes EA des structures sont plus fréquemment dominées par les phénomènes d'ondes de surface et il convient que l'étalonnage soit fondé sur la réponse du transducteur aux dites ondes.

5.5 Unités d'étalonnage

La surface avant d'un transducteur EA est sensible au mouvement. Les contraintes et déformations réelles exercées sur la surface avant d'un transducteur monté dépendant de l'interaction entre l'impédance mécanique du transducteur (charge) à celle du bloc de montage (entraînement). Ni la contrainte, ni la déformation ne conduisent à

une mesure directe en cet emplacement. Cependant, le libre déplacement susceptible de se produire à la surface du bloc en l'absence du transducteur peut être influencé par les calculs de théorie élastique ou par les mesures effectuées ailleurs sur la surface. Dans la mesure où les transducteurs EA sont utilisés pour surveiller le mouvement au niveau d'une surface libre d'une structure et où les effets interactifs entre le transducteur et la structure ne présentent généralement aucun intérêt, le mouvement libre est la variable d'entrée appropriée. Il est par conséquent nécessaire que les unités d'étalonnage soient des tensions par unité de mouvement libre, par exemple volts par mètre.

5.6 Matériaux du bloc

Dans la mesure où l'étalonnage dépend de l'interaction de l'impédance mécanique du bloc et de celle du capteur EA, une procédure d'étalonnage doit spécifier les matériaux constitutifs du bloc. Les étalonnages effectués sur les blocs constitués de différents matériaux doivent produire une sensibilité du transducteur par rapport à des courbes de fréquence de forme et de grandeur moyenne différentes. Le degré de différence de ces résultats peut être très important. Par exemple, un transducteur qui a été étalonné sur un bloc en acier aura, s'il a été étalonné sur un bloc en verre ou en aluminium, une sensibilité moyenne pouvant varier de 50 % à 100 % par rapport à la valeur obtenue avec l'acier, et aura, s'il a été étalonné sur un bloc méthacrylate polyméthacrylate, une sensibilité moyenne pouvant représenter uniquement 3 % de la valeur obtenue avec l'acier. En général, la sensibilité sera moindre lorsque le bloc est composé d'un matériau moins rigide ou moins dense.

Pour les étalonnages d'ondes de surface, la vitesse de Rayleigh propre au matériau du bloc affecte l'étalonnage. Pour un transducteur ayant une ouverture circulaire (surface de montage) avec une sensibilité uniforme de la surface, l'effet d'ouverture prévoit des points de réception nulle au niveau des zéros de $J_1(ka)$, où $k = 2\pi f/c$. Ainsi, les fréquences auxquelles les points de réception nulle se produisent dépendent de la vitesse de Rayleigh.

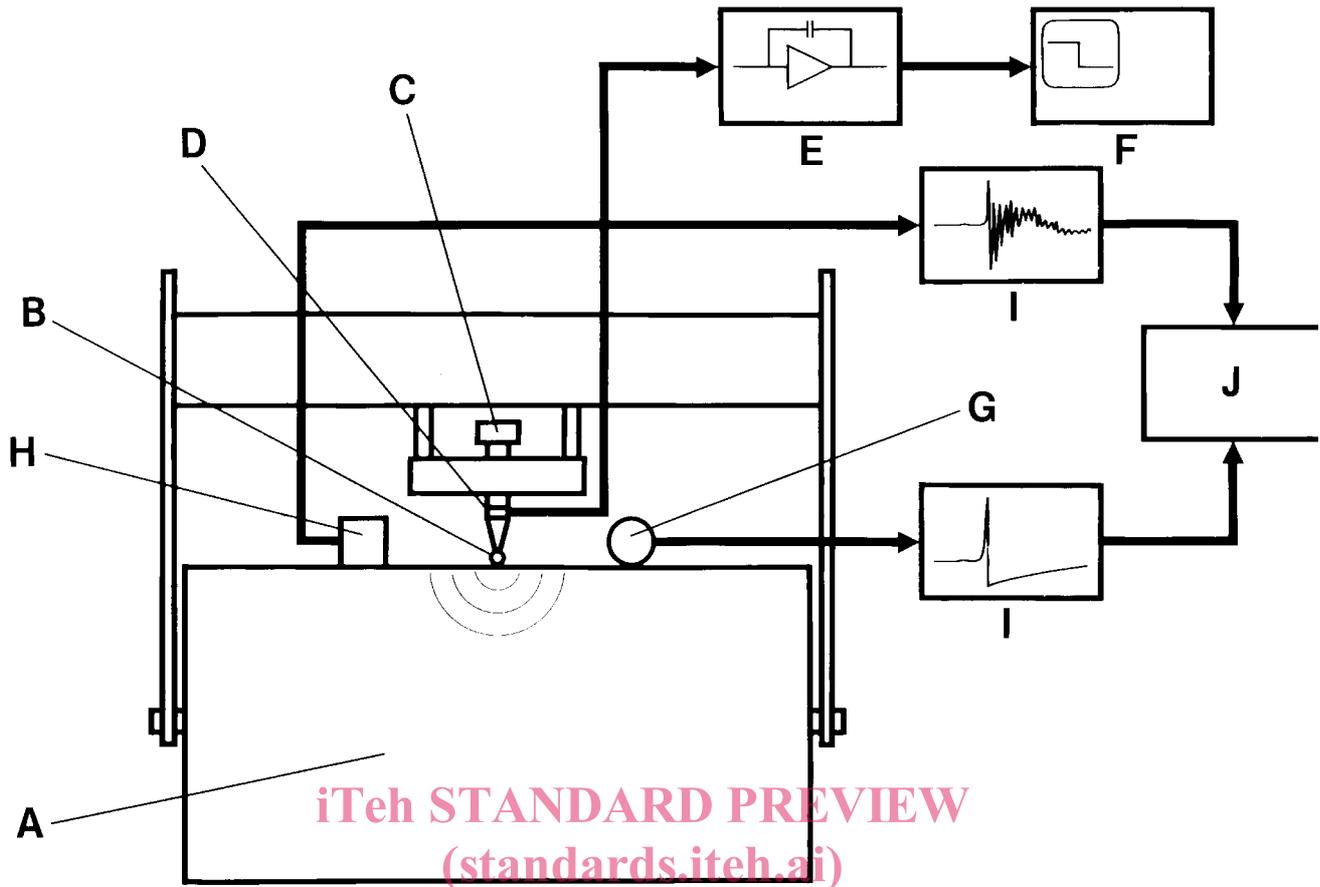
6 Description de l'appareillage type

6.1 Généralités

Un plan de base type d'étalonnage est représenté à la figure 1. Un capillaire en verre, B, d'un diamètre approximatif de 0,2 mm, est comprimé entre l'extrémité de la vis de serrage, C, et la surface supérieure du grand bloc de transfert en acier, A. Lorsque le capillaire rompt, le relâchement soudain de forces représente une fonction en échelon dont le temps de montée est de l'ordre de 0,1 μ s. La grandeur de l'échelon de force est mesurée par la combinaison du disque PZT, D, dans la vis d'appui et d'un amplificateur de charge, E, connecté à un oscilloscope à mémoire, F. Le transducteur capacitif étalon, G, et le dispositif soumis à l'essai, H, sont placés à équidistance (habituellement 0,1 m) de la source et dans des directions opposées. D'un point de vue symétrique, il est évident que les déplacements de surface sont les mêmes aux deux emplacements de transducteur que s'ils n'étaient pas destinés aux effets de charge des transducteurs. L'effet de charge du transducteur capacitif étalon est négligeable et l'effet de charge du capteur inconnu fait partie de son étalonnage.

Les surtensions transitoires des deux transducteurs sont enregistrées simultanément par des enregistreurs numériques, I, et les informations sont stockées pour être traitées par l'ordinateur, J.

Avec ce système, il est possible de procéder à la comparaison nécessaire entre le signal du capteur inconnu et celui du transducteur étalon ou avec la forme d'onde de déplacement calculée par la théorie de l'élasticité. Il convient d'obtenir un résultat similaire quel que soit le système.



Légende

- | | | | |
|---|----------------------------|---|-------------------------------|
| A | Bloc de transfert en acier | F | Oscilloscope à mémoire |
| B | Capillaire en verre | G | Transducteur étalon |
| C | Vis de serrage | H | Transducteur soumis à l'essai |
| D | Disque PZT | I | Enregistreurs de transitoires |
| E | Amplificateur de charge | J | Ordinateur |

Figure 1 — Représentation schématique de l'appareillage

6.2 Bloc de transfert

Le bloc de transfert doit être constitué de matériaux spécialement choisis. Il convient qu'il soit exempt de défauts dans toute la mesure du possible et qu'il soit soumis à un examen longitudinal par ultrasons d'une puissance de 2,25 MHz. Il convient d'utiliser la méthode décrite dans la norme ASTM E 114 ou une pratique équivalente. Il convient que le bloc ne contienne aucun défaut produisant une réflexion supérieure à 10 % de la première réflexion de fond. Il convient également que l'uniformité du matériau soit suffisante, comme déterminé par le temps d'écho de l'impulsion des mesures de bord à travers le bloc; effectuées au minimum en 15 emplacements à espacements réguliers sur toute la surface (voir la norme ASTM E 494). Il convient que les valeurs individuelles de la vitesse des ondes longitudinale et transversale diffèrent de la moyenne d'une proportion ne dépassant pas ± 1 partie et de ± 3 parties en 10^3 , respectivement. La figure 2 présente un bloc de transfert et un appareillage d'étalonnage.



Figure 2 — Photographie du bloc d'acier avec mise en place de l'appareillage d'étalonnage

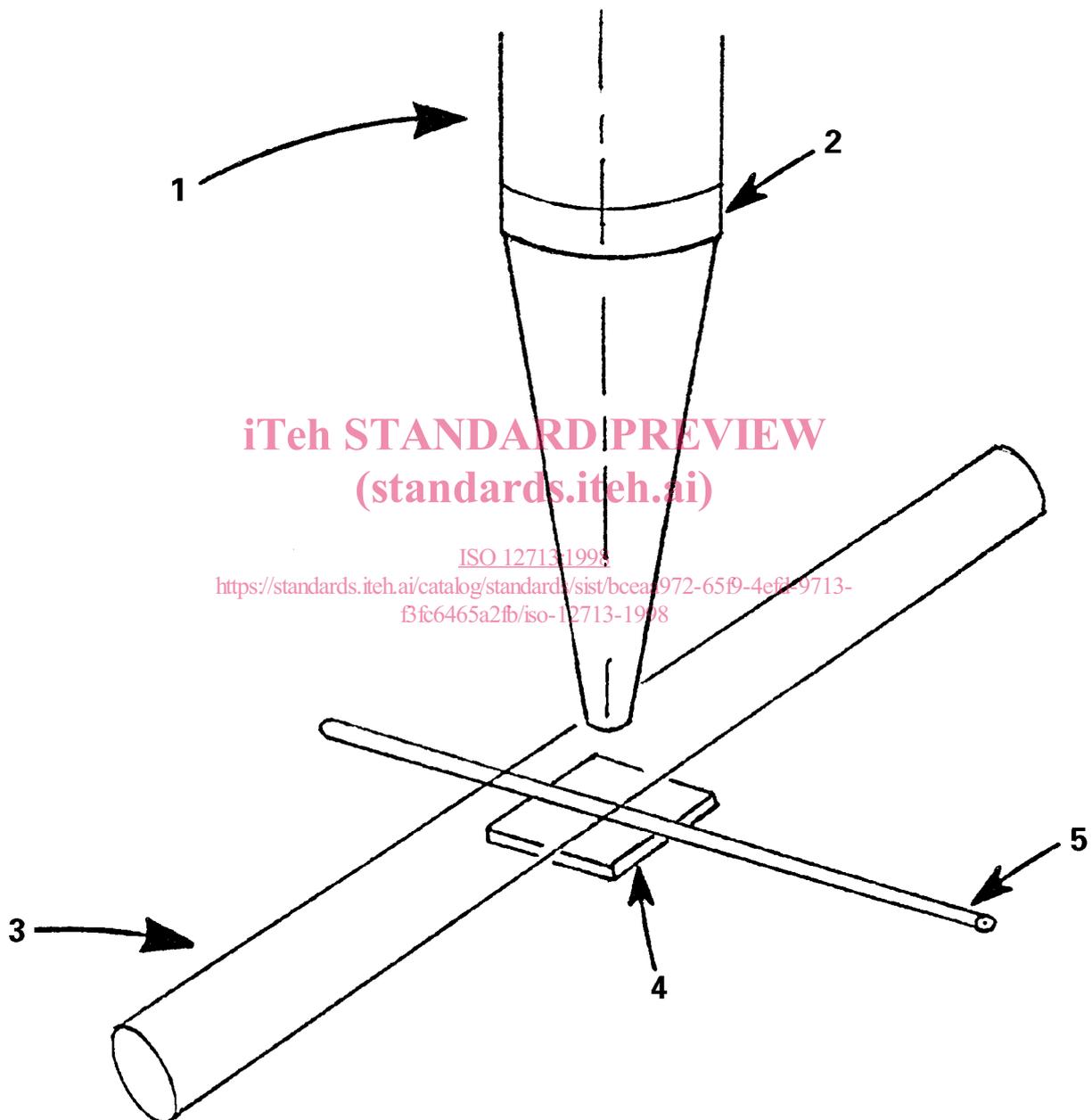
6.3 Source de la fonction en échelon

Les forces de la fonction en échelon doivent apparaître avec la rupture des tubes isolants de capillaire en verre (voir figure 3). Les capillaires sont obtenus des tubes isolants ordinaires de laboratoire en verre de borosilicate. Les dimensions du capillaire peuvent varier selon un diamètre extérieur compris entre 0,1 mm et 0,3 mm; un diamètre de 0,2 mm étant le diamètre type. Un calibre équivalent à l'épaisseur de paroi donne les meilleurs résultats. La force obtenue se situe habituellement entre 10 N et 30 N; une force de 20 N étant une force type.

Le capillaire doit être posé horizontalement sur un verre de protection de microscope (0,08 mm × 1,5 mm × 1,5 mm) collé à la surface supérieure du bloc d'acier à l'aide de salol (salicylate de phényle) ou de ciment cyanoacrylate. La force est appliquée au capillaire par une tige en verre solide (12 mm de diamètre) qui a été placée horizontalement sur la partie supérieure du capillaire ainsi qu'à ses angles droits. La tige est tirée vers le bas par la vis de serrage

jusqu'à la rupture du capillaire. La vis de serrage doit être filetée par l'intermédiaire d'un collier au-dessus de la surface d'étalonnage. Il convient que la vis de serrage contienne un transducteur de forces céramique étalonné à l'aide de poids morts. Ainsi, l'amplitude de l'événement de source peut être mesurée et utilisée pour le calcul de la théorie de l'élasticité du déplacement de surface, bien que la dimension dudit événement ne puisse être prévue.

En situation idéale, il convient que le capillaire repose directement sur l'acier sans aucun verre de protection. Il peut être jugé nécessaire d'utiliser la protection afin d'éviter tout endommagement de la surface du bloc. La présence de la protection affecte très légèrement la forme de l'onde. Une légère alternance se produit en raison des réflexions au niveau de ses limites. L'oscillation contient uniquement des fréquences supérieures à 2 MHz. En outre, les effets sur le transducteur étalon et le capteur inconnu étant identiques, l'étalonnage n'est donc pas affecté.



Légende

- 1 Vis de serrage
- 2 Disque PZT
- 3 Tige de verre
- 4 Protection
- 5 Capillaire

Figure 3 — Source capillaire en verre

6.4 Transducteur étalon

Les caractéristiques du transducteur étalon à utiliser pour la mesure absolue du déplacement en situation d'étalonnage doivent être au moins aussi correctes que celles du transducteur capacitif, comme décrit par Breckenridge et Greenspan (voir article 2). Ce dispositif, présenté aux figures 4a) et 4b), se compose essentiellement d'une masse d'inertie (environ 40 g) montée sur des supports conformes et séparée de la surface supérieure du bloc d'acier par une couche d'air intermédiaire de 4 μm . Cette couche est déterminée en mesurant la capacitance entre le transducteur et le bloc de transfert en utilisant un pont à branches à trois bornes comme décrit par Beckenridge et Greenspan (voir article 2). La masse d'inertie est un cylindre de laiton avec un axe horizontal. Lorsque la surface du bloc se déplace à des fréquences supérieures à la résonance naturelle (approximativement 1 kHz) de la masse sur ses supports conformes, le cylindre de laiton demeure approximativement stationnaire. Ce dernier est polarisé en courant continu (100 V) par l'intermédiaire d'une résistance de valeur élevée de sorte que la variation de la capacitance entraîne la variation de la tension exercée sur le cylindre de laiton.

L'utilisation comme étalon primaire nécessite que la sensibilité du transducteur soit calculable. Pour rendre les calculs possibles, le cylindre est traité comme étant une section d'un cylindre infini. Des protecteurs électriques sont fixés à chaque extrémité pour éliminer l'effet d'extrémité qui autrement serait important.

La longueur de la zone sensible du transducteur est de 12,4 mm et sa largeur est effectivement inférieure à 1 mm. Le grand axe de cette zone est tangent à un front d'onde d'avancement par rapport à la source capillaire.

La sensibilité du transducteur se situe aux environs de 12×10^6 V/m et le déplacement décelable minimal est de 4×10^{-12} m efficace. La réponse fréquentielle calculée du transducteur fondée sur sa largeur d'ouverture effective et sur son écart par rapport à la courbure des fronts d'ondes est indiquée à la figure 5. À une puissance de 1 MHz, l'amplitude diminue de moins de 10 % et le déphasage en arrière est d'environ 8°. Les équations (4) et (5) peuvent être utilisées pour calculer la réponse aux fréquences concernées. L'incertitude estimée totale des mesures du déplacement est approximativement de ± 5 %. Les mesures du déplacement effectuées par le transducteur sont en accord avec les déplacements calculés par la théorie de l'élasticité dans une limite de 5 %.

Le transducteur étalon et le dispositif soumis à l'essai doivent être placés à $0,1 \text{ m} \pm 1 \text{ mm}$ de la source (voir la norme ASTM E 650) sauf indication contraire mentionnée dans chaque rapport des résultats d'étalonnage.

6.5 Enregistrement des données et matériel de traitement

Deux voies synchronisées du matériel d'enregistrement des transitoires sont nécessaires au captage des formes d'onde à partir du transducteur étalon et du transducteur soumis à l'essai. Il convient que la précision de ces voies soit d'au moins 8 bits et que leur vitesse d'échantillonnage soit de 20 MHz, ou que leur précision soit d'au moins 10 bits et leur vitesse d'échantillonnage de 10 MHz et d'au moins 102,4 μs . Il convient de transférer les données ainsi enregistrées à un mini-ordinateur pour qu'il procède à leur traitement, et également de les stocker sur un dispositif permanent, par exemple une disquette, comme enregistrement permanent.

7 Traitement d'étalonnage des données

7.1 Notation

La notation suivante est utilisée pour décrire le traitement des données afin d'obtenir des résultats d'étalonnage (voir 4.1):

- n est le nombre total d'échantillons sur une voie;
- Δt est l'intervalle d'échantillonnage, en microsecondes;
- T est le temps d'enregistrement total, en micromètres ($= n\Delta t$);
- s_j est la $j^{\text{ième}}$ valeur d'échantillonnage de la voie étalon;
- u_j est la $j^{\text{ième}}$ valeur d'échantillonnage de la voie inconnue;
- $j = 0, 1, 2, \dots, n - 1$.

Les unités de s_j et de u_j sont des unités multipliées en volts par une constante arbitraire qui dépend de la configuration spécifique des équipements électroniques.