

---

Norme internationale



7626 / 1

---

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

---

**Vibrations et chocs — Détermination expérimentale de la  
mobilité mécanique —  
Partie 1: Définitions fondamentales et transducteurs**

*Vibration and shock — Experimental determination of mechanical mobility — Part 1: Basic definitions and transducers*

Première édition — 1986-08-15

iteh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 7626-1:1986](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7065f226-5108-4def-bf56-422c988e0620/iso-7626-1-1986)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7065f226-5108-4def-bf56-422c988e0620/iso-7626-1-1986>

---

CDU 534.1.08

Réf. n° : ISO 7626/1-1986 (F)

**Descripteurs** : vibration, choc mécanique, structure, bâtiment, machine, essai, essai de vibration, détermination, mobilité, matériel d'essai, transducteur, spécification, étalonnage, représentation des données.

## 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 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.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 7626/1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*.

L'attention des utilisateurs est attirée sur le fait que toutes les Normes internationales sont de temps en temps soumises à révision et que toute référence faite à une autre Norme internationale dans le présent document implique qu'il s'agit, sauf indication contraire, de la dernière édition.

ISO 7626-1:1986

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/70650226-5108-4def-bf56-102-983-06301-7526-1-1986>

## Sommaire

	Page
<b>0</b> Introduction .....	1
<b>1</b> Objet et domaine d'application .....	2
<b>2</b> Références .....	2
<b>3</b> Symboles et unités .....	2
<b>4</b> Définitions .....	2
<b>5</b> Exigences fondamentales concernant les transducteurs de mesure de force et de mouvement .....	4
<b>6</b> Étalonnage .....	5
<b>7</b> Étalonnage de base du transducteur piézo-électrique .....	6
<b>8</b> Étalonnages supplémentaires .....	7
<b>9</b> Présentation des données .....	10
 <b>Annexes</b>	
<b>A</b> Relation entre l'impédance mécanique, la mobilité et l'analyse modale .....	17
<b>B</b> Mobilité en tant que fonction de la réponse en fréquence .....	19
<b>C</b> Détermination de la souplesse et de l'amortissement des fixations des capteurs d'impédance .....	21
<b>Bibliographie</b> .....	23

Page blanche

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

ISO 7626-1:1986

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7065f226-5108-4def-bf56-422c988e0620/iso-7626-1-1986>

# Vibrations et chocs — Détermination expérimentale de la mobilité mécanique —

## Partie 1: Définitions fondamentales et transducteurs

### 0 Introduction

#### 0.1 Introduction générale à l'ISO 7626 sur le mesurage de la mobilité

Les caractéristiques dynamiques des structures peuvent être déterminées comme une fonction de la fréquence à partir des mesurages de la mobilité ou des fonctions de réponse en fréquence correspondantes, appelées accélération et souplesse (élasticité) dynamique. Chacune de ces fonctions de réponse en fréquence est le vecteur tournant de la réponse du mouvement en un point de la structure, dû à la force (ou au moment) d'excitation. L'amplitude et la phase de ces fonctions dépendent de la fréquence.

L'accélération et la souplesse dynamique diffèrent de la mobilité uniquement dans le sens que la réponse du mouvement est exprimée respectivement en termes d'accélération et de déplacement au lieu d'apparaître en termes de vitesse. Pour simplifier les différentes parties de l'ISO 7626, on utilisera uniquement le terme de « mobilité ». Il est néanmoins entendu que toutes les méthodes d'essai et les exigences requises s'appliquent également à la détermination de l'accélération et de la souplesse dynamique.

Les mesurages de la mobilité servent en général à :

- prédire la réponse dynamique de structures à une excitation d'entrée connue ou supposée;
- déterminer les propriétés modales d'une structure (fréquences naturelles, formes de mode et taux d'amortissement);
- prédire l'interaction dynamique de structures interconnectées;
- vérifier la validité et améliorer la précision des modèles mathématiques des structures;
- déterminer les propriétés dynamiques (c'est-à-dire le module complexe d'élasticité) des matériaux sous une forme pure ou composite.

Pour certaines applications, une description complète des caractéristiques dynamiques peut être requise à l'aide des mesures des forces de translation et des mouvements le long de trois axes mutuellement perpendiculaires de même que des mesures de moments et mouvements de rotation autour de ces trois axes. Cet ensemble de mesures fournit une matrice de mobilité  $6 \times 6$  pour chaque endroit examiné. Pour  $N$  endroits

d'une structure, le système aura ainsi une matrice générale de mobilité correspondant à  $6N \times 6N$ .

En pratique et dans la plupart des cas, il n'est pas nécessaire de connaître la matrice  $6N \times 6N$  toute entière. Il est souvent suffisant de mesurer la mobilité du point d'application et quelques mobilités de transfert par excitation d'un seul point dans une seule direction, puis de mesurer la réponse translationnelle aux points critiques de la structure. Dans d'autres applications, seules les mobilités rotationnelles peuvent présenter de l'intérêt.

Pour simplifier l'utilisation des différentes parties de l'ISO 7626 lors de mesurages variés de la mobilité, effectués dans la pratique, l'ISO 7626 est publiée sous forme d'un ensemble de cinq parties séparées.

L'ISO 7626/1 (la présente partie de l'ISO 7626) concerne les définitions fondamentales et les transducteurs. Les informations fournies par la présente partie de l'ISO 7626 sont communes à la plupart des opérations de mesurage de la mobilité.

L'ISO 7626/2 concerne les mesurages de la mobilité à partir d'une excitation translationnelle en un seul point à l'aide d'un générateur de vibrations solidaire de ce point.

L'ISO 7626/3 concerne les mesurages de la mobilité à partir d'une excitation rotationnelle en un seul point à l'aide d'un générateur de vibrations solidaire de ce point. Les informations fournies servent surtout à prédire la résonance en torsion d'un système rotor.

L'ISO 7626/4 concerne les mesurages de la matrice de mobilité toute entière à l'aide de générateurs de vibrations solidaires. Ceci inclut les termes rendant compte des excitations translationnelles, rotationnelles et leurs combinaisons pour la matrice  $6 \times 6$  à chaque endroit de la structure.

L'ISO 7626/5 concerne les mesurages de la mobilité à partir d'une excitation d'impact à l'aide d'un générateur non fixé à la structure.

La mobilité mécanique est définie comme la fonction de réponse en fréquence formée par le rapport du vecteur tournant de la réponse en vitesse, en translation et en rotation, au vecteur tournant de la force appliquée ou de l'excitation du mouvement. Si la réponse est mesurée avec un accéléromètre, la conversion en vitesse est nécessaire pour obtenir la mobilité. Une autre solution est d'utiliser le rapport d'accélération à la force, appelé accélération, pour caractériser une structure. Dans d'autres cas, on peut aussi utiliser la souplesse dynamique, à savoir le rapport du déplacement à la force.

NOTE — Dans les études précédentes, les fonctions de réponse en fréquence des structures ont souvent été exprimées en termes de réciproque de l'une des caractéristiques dynamiques sus-mentionnées. La réciproque arithmétique de la mobilité mécanique a souvent été nommée impédance mécanique. On devrait noter toutefois que ceci peut prêter à confusion car la réciproque arithmétique de la mobilité ne représente pas, en général, l'un des éléments de la matrice d'impédance d'une structure. Ce point est traité dans l'annexe A.

Les données d'essai de mobilité ne peuvent être utilisées directement en tant que partie du modèle d'impédance d'une structure. Pour que les données soient compatibles avec le modèle, la matrice d'impédance du modèle doit être convertie en mobilité ou vice versa (voir les restrictions exposées au chapitre A.3 de l'annexe A).

**0.2 Introduction à la présente partie de l'ISO 7626**

Avant de procéder à des mesurages de la mobilité, il est nécessaire d'évaluer les caractéristiques des transducteurs de force et de réponse qui seront utilisés afin de s'assurer qu'on obtiendra des informations d'amplitude et de phase correctes sur toute la gamme de fréquences considérée.

La présente partie de l'ISO 7626 donne les principes directeurs pour le choix, l'étalonnage et l'évaluation des transducteurs et instruments au vu de leur aptitude à effectuer des mesurages de mobilité.

**1 Objet et domaine d'application**

La présente partie de l'ISO 7626 fournit des définitions fondamentales, avec commentaires, et identifie les essais d'étalonnage, les essais d'environnement et les paramètres physiques nécessaires, permettant de déterminer l'aptitude de capteurs d'impédance, de transducteurs de force et de transducteurs de réponse à être employés pour le mesurage de la mobilité mécanique.

La présente partie de l'ISO 7626 se limite aux informations essentielles relatives aux différents points d'application, à la mobilité de transfert et aux mesurages de l'accélération et de la souplesse dynamique. Les mesurages faisant appel à l'impédance mécanique bloquée (voir 4.3) ne sont pas traités ici.

NOTE — Les méthodes de mesurage de la mobilité dans des circonstances variées seront décrites dans l'ISO 7626/2, l'ISO 7626/3, l'ISO 7626/4 et l'ISO 7626/5.

**2 Références**

- ISO 2041, *Vibrations et chocs — Vocabulaire.*
- ISO 4865, *Vibrations et chocs — Méthodes pour l'analyse et la présentation des données.*<sup>1)</sup>
- ISO 5347, *Vibrations et chocs — Méthodes d'étalonnage des capteurs de vibrations et de chocs.*<sup>1)</sup>
- Publication CEI 263, *Échelles et dimensions des graphiques pour le tracé des courbes de réponse en fréquence et des diagrammes polaires.*

1) Actuellement au stade de projet.

**3 Symboles et unités**

Symbole	Désignation	Unité SI
$a$	Accélération	m/s <sup>2</sup>
$a_i/F_j$	Accélération	m/(N·s <sup>2</sup> )
$E$	Sortie transducteur	V
$f$	Fréquence	Hz
$F$	Force	N
$k$	Raideur	N/m
$m$	Masse	kg
$S$	Sensibilité	V/unités de la variable de sortie
$v$	Vitesse	m/s
$x$	Déplacement	m
$x_i/F_j$	Souplesse dynamique	m/N
$Y_{ij}$	Mobilité	m/(N·s)
$Z$	Impédance libre	N·s/m
$Z_{ij}$	Impédance bloquée	N·s/m

**4 Définitions**

Les termes généraux et leurs définitions utilisés dans la présente partie de l'ISO 7626 sont tirées de l'ISO 2041. Plusieurs des plus importantes définitions choisies pour le mesurage et la présentation des données de la mobilité mécanique sont énumérées ci-après pour mettre l'accent sur leur emploi dans la présente partie de l'ISO 7626.

**4.1 fonction de la réponse en fréquence:** Rapport de la fréquence du vecteur tournant de la réponse de mouvement au vecteur tournant de la force d'excitation.

NOTES

- 1 Les fonctions de la réponse en fréquence sont des propriétés de systèmes dynamiques linéaires ne dépendant pas du type de la fonction d'excitation. L'excitation peut être une fonction du temps harmonique, aléatoire ou transitoire. Les résultats d'essai pour un type d'excitation peuvent ainsi être utilisés pour prédire la réponse du système à tout autre type d'excitation. On trouvera dans l'annexe B une discussion sur les vecteurs tournants et leurs équivalents pour une excitation aléatoire et transitoire.
- 2 La linéarité d'un système est une condition qui, dans la pratique, n'est remplie qu'approximativement, en fonction du type de système et de l'importance de l'impulsion. On devrait prendre soin d'éviter les effets non linéaires, particulièrement dans le cas de l'application d'une excitation impulsive. Les structures connues pour être non linéaires (par exemple certaines structures rivetées) ne devraient pas être essayées à l'aide d'excitation impulsive et l'on devrait prendre les plus grandes précautions quand on a recours à une excitation aléatoire pour procéder à des essais sur ces structures.
- 3 Le mouvement peut être exprimé en termes de vitesse, d'accélération ou de déplacement. Les désignations correspondantes des fonctions de réponse en fréquence sont respectivement la mobilité, l'accélération et la souplesse dynamique.

**4.2 mobilité,  $Y_{ij}$ :** La fonction de réponse en fréquence formée par le rapport du vecteur tournant de la réponse en vitesse au point  $i$  au vecteur tournant de la force d'excitation au point  $j$ , compte tenu que la réponse de tous les autres points de la structure correspond à une réaction libre de points non soumis à des contraintes autres que celles provenant du support normal de la structure dans l'application en cause. Un graphique type est montré sur la figure 1.

## NOTES

- 1 La réponse en vitesse peut être translationnelle ou rotationnelle, et la force d'excitation peut être une force rectiligne ou un moment.
- 2 Si la réponse en vitesse mesurée est translationnelle et si la force d'excitation appliquée est rectiligne, les unités du terme de mobilité seront exprimées en mètres par newton seconde dans le système SI.

**4.3 impédance bloquée,  $Z_{ij}$ :** Fonction de réponse en fréquence formée par le rapport du vecteur tournant du blocage ou de la réponse en force au point d'application  $i$  au vecteur tournant de la vitesse d'excitation appliquée au point  $j$ , tous les autres points de la structure étant bloqués, c'est-à-dire contraints à une vitesse zéro. Toutes les forces et tous les moments requis pour contraindre complètement les points considérés de la structure doivent être mesurés afin de parvenir à une matrice d'impédance bloquée valable. De ce fait, les mesurages d'impédance bloquée (voir [13]) sont rarement effectués et ne sont pas traités dans les différentes parties de l'ISO 7626.

## NOTES

- 1 Tout changement du nombre des points de mesure ou de leur emplacement modifie les impédances bloquées à tous ces points de mesure.
- 2 Le but essentiel de l'impédance bloquée est de construire un modèle mathématique d'une structure en faisant intervenir les techniques de masse globale, d'éléments de raideur et d'amortissement ou d'élément fini. Si on compare ou on combine ces modèles mathématiques

avec les données expérimentales de mobilité, il est nécessaire de convertir la matrice analytique d'impédance bloquée en matrice de mobilité, ou vice versa, comme indiqué à l'annexe A.

**4.4 impédance libre:** Rapport du vecteur tournant de la force d'excitation appliquée au vecteur tournant de la vitesse en résultant, tous les autres points de connexion du système étant libres, c'est-à-dire étant soumis à des forces de restriction égales à zéro. L'impédance libre est la réciproque arithmétique d'un seul élément de la matrice de mobilité, comme défini en 4.2.

## NOTES

- 1 Jusqu'à présent, on a fait rarement une distinction entre impédance bloquée et impédance libre. On devrait donc faire attention en interprétant les données publiées.
- 2 Quand elle est déterminée expérimentalement, l'impédance libre peut être mise sous la forme d'une matrice. Cette dernière est assez différente de la matrice d'impédance bloquée résultant du modèle mathématique d'une structure. En conséquence, elle n'est pas conforme aux exigences indiquées à l'annexe A quand on utilise l'impédance mécanique lors d'une analyse théorique globale d'un système.

#### 4.5 Autres fonctions de réponse en fréquence reliées à la mobilité

Il existe plusieurs autres rapports de réponse structurale qui sont parfois utilisés à la place de la mobilité mécanique. Ces rapports sont résumés au tableau 1.

On doit prendre note des commentaires accompagnant chaque type de rapport. Des courbes présentant des grandeurs types pour l'accélération et la souplesse dynamique, correspondant à la courbe de mobilité de la figure 1, sont illustrées respectivement sur les figures 2 et 3.

## NOTES

- 1 La souplesse dynamique est appelée «réceptance» par plusieurs auteurs.

**Tableau 1 — Définitions équivalentes à utiliser pour différents types de fonctions de réponse en fréquence mesurées, en rapport avec la mobilité mécanique**

	Mouvement exprimé en tant que vitesse	Mouvement exprimé en tant qu'accélération	Mouvement exprimé en tant que déplacement
<b>Terme</b>	Mobilité	Accélération	Souplesse dynamique
<b>Symbole</b>	$Y_{ij} = v_i/F_j$	$a_i/F_j$	$x_i/F_j$
<b>Unité</b>	m/(N.s)	m/(N.s <sup>2</sup> ) = kg <sup>-1</sup>	m/N
<b>Conditions limites</b>	$F_k = 0 ; k \neq j$	$F_k = 0 ; k \neq j$	$F_k = 0 ; k \neq j$
<b>Voir figure</b>	1	2	3
<b>Commentaires</b>	Les conditions limites sont faciles à atteindre expérimentalement		
<b>Terme</b>	Impédance bloquée	Masse effective bloquée	Raideur dynamique
<b>Symbole</b>	$Z_{ij} = F_i/v_j$	$F_i/a_j$	$F_i/x_j$
<b>Unité</b>	(N.s)/m	(N.s <sup>2</sup> )/m = kg	N/m
<b>Conditions limites</b>	$v_k = 0 ; k \neq j$	$a_k = 0 ; k \neq j$	$x_k = 0 ; k \neq j$
<b>Commentaires</b>	Les conditions limites sont difficiles sinon impossibles à atteindre expérimentalement		
<b>Terme</b>	Impédance libre	Masse effective (libre)	Raideur dynamique libre
<b>Symbole</b>	$F_j/v_i = \frac{1}{Y_{ij}}$	$F_j/a_i$	$F_j/x_i$
<b>Unité</b>	(N.s)/m	(N.s <sup>2</sup> )/m = kg	N/m
<b>Conditions limites</b>	$F_k = 0 ; k \neq j$	$F_k = 0 ; k \neq j$	$F_k = 0 ; k \neq j$
<b>Commentaires</b>	Les conditions limites sont faciles à atteindre mais les résultats doivent être utilisés avec une grande prudence pour les modèles de système		

2 L'«accélération» a été malencontreusement appelée «inertance» dans certaines publications. Ce terme n'est pas un terme normalisé et devrait être omis parce qu'il est contraire à la définition admise d'«inertance acoustique» et qu'il est l'opposé de ce qui est impliqué quand on utilise le terme «inertance».

**4.6 gamme de fréquences considérée:** Intervalle, en hertz, entre la fréquence la plus basse et la fréquence la plus élevée, et dans lequel les données de mobilité doivent être obtenues dans des séries d'essais données.

## 5 Exigences fondamentales concernant les transducteurs de mesure de force et de mouvement

### 5.1 Généralités

Les caractéristiques fondamentales de tous les transducteurs de mesure et qui sont particulièrement importantes pour acquérir des données appropriées sur la mobilité sont les suivantes.

- a) Les transducteurs doivent avoir une sensibilité suffisante et un faible niveau de bruit de manière à obtenir un rapport signal/bruit de la chaîne de mesure s'appliquant valablement à la gamme dynamique de la mobilité de la structure. Comme les structures légèrement amorties nécessitent une gamme dynamique plus étendue que les structures à fort taux d'amortissement, le bruit du transducteur doit être un sujet de préoccupation quand on soumet à des essais une structure à faible taux d'amortissement.
- b) Si la fonction de réponse en fréquence du transducteur de mesure n'est pas compensée par un traitement approprié du signal, la fréquence naturelle du transducteur de réponse doit être suffisamment en dessous ou au-dessus de la gamme de fréquences considérée de manière que n'intervienne pas un déphasage inacceptable.
- c) La sensibilité du transducteur doit être stable dans le temps et avoir un glissement en courant continu négligeable.
- d) Les transducteurs doivent être insensibles aux effets de l'environnement extérieur, tels que température, humidité, champs magnétiques, champs électriques, champs acoustiques, pulsions de contraintes et pulsions transversales aux axes.
- e) La masse du transducteur et son inertie rotationnelle doivent être faibles pour éviter de charger dynamiquement la structure soumise à l'essai, ou au moins assez faibles pour qu'on puisse effectuer une correction de la charge.

Il est également important que le système de mesure soit peu sensible aux effets de circuits électriques de mise à la terre et autres signaux extérieurs.

### 5.2 Exigences concernant les transducteurs de mesure de mouvement

Bien que les transducteurs de mesure de mouvement doivent posséder les caractéristiques définies en 5.1, certaines de ces caractéristiques sont plus importantes que d'autres. Les transducteurs de mouvement utilisés pour les mesurages de mobilité mécanique sont la plupart du temps des accéléromètres; toutefois, on utilise parfois des transducteurs de déplacement ou de

vitesse. Pour le choix d'un transducteur, les principales caractéristiques à considérer sont indiquées en 5.2.1 à 5.2.4.

**5.2.1** Le transducteur de mouvement doit être d'un faible poids (ou sans contact avec la structure) de manière à réduire au minimum la charge structurale sur la structure soumise à l'essai.

**5.2.2** La fixation du transducteur sur la structure soumise à l'essai doit avoir une rigidité dans la direction de l'axe primaire de mesure du transducteur.

**5.2.3** La fixation doit avoir une surface de contact suffisamment faible pour éviter un raidissement ou un amortissement de la structure provoqués par le transducteur ou par son support de montage.

**5.2.4** Lors de l'application d'une impulsion d'excitation, il peut se produire une dérive zéro des accéléromètres piézo-électriques en raison d'un effet pyro-électrique, ce qui limite la précision de la mesure à des basses fréquences. Une solution peut être apportée à ce problème par l'emploi d'autres transducteurs de mouvement (par exemple piézo-résistifs, électrodynamiques ou certains types d'accéléromètres piézo-électriques à cisaillement).

### 5.3 Exigences concernant les transducteurs de mesure de force

Certaines des caractéristiques énumérées en 5.1 sont plus importantes que d'autres pour le choix d'un transducteur de mesure de force utilisé pour les mesurages de mobilité mécanique. Comme la conception nécessite toujours des compromis, on doit considérer les points indiqués en 5.3.1 à 5.3.3 comme de première importance.

**5.3.1** La masse effective d'extrémité (masse entre l'élément sensible à la force du transducteur et la structure) doit être suffisamment faible pour réduire au minimum les signaux extérieurs de force d'inertie associés à cette masse. (Voir de plus amples détails en 8.4.)

**5.3.2** La raideur du transducteur de force et de ses composants doit être telle qu'aucune résonance mettant en cause cette raideur n'intervienne dans la gamme des fréquences considérée. En tant que solution de compromis, l'effet de ces résonances sur le signal émanant de l'élément sensible à la force doit être compensé par un traitement approprié du signal.

**5.3.3** La précharge statique doit être appropriée à l'échelle des forces d'excitation requises pour l'application des essais. Des transducteurs avec une précharge incorporée sont disponibles pour résoudre ce problème.

### 5.4 Exigences concernant les capteurs d'impédance et les fixations sur la structure soumise à l'essai

Un dispositif combinant un accéléromètre et un transducteur de force dans le même ensemble, afin de procéder à des mesurages de mobilité, est habituellement appelé un «capteur d'impédance». La conception de ce capteur résulte d'un compromis entre les caractéristiques indiquées en 5.2 et 5.3. Toutefois,

certaines caractéristiques importantes doivent être soulignées, comme précisé en 5.4.1 à 5.4.4.

**5.4.1** La souplesse totale entre la structure et l'accéléromètre interne doit être faible car une souplesse trop accentuée introduira des erreurs dans les mesures de l'accélération.

NOTE — La souplesse totale est la somme de la souplesse de la fixation et de la souplesse propre du capteur d'impédance. La souplesse de la fixation comprend également la souplesse de l'« effet mort » de la structure soumise à l'essai. La souplesse totale peut être déterminée comme indiqué à l'annexe C.

**5.4.2** La masse effective d'extrémité (masse entre l'élément sensible à la force du transducteur et la structure) doit être faible par rapport à la masse effective libre de la structure soumise à l'essai.

**5.4.3** Le moment d'inertie du capteur d'impédance, par rapport à un axe dans le plan de la fixation, doit être suffisamment faible pour réduire au minimum la charge structurelle due au mouvement rotationnel autour de cet axe.

NOTE — D'autres recommandations pour éviter de charger la structure soumise à l'essai par la fixation des capteurs d'impédance, seront définies dans l'ISO 7626/2.

**5.4.4** En ce qui concerne la conception du capteur d'impédance, on doit veiller à éviter une sensibilité transversale du transducteur d'accélération à la force appliquée.

## 6 Étalonnage

L'étalonnage peut entrer dans trois catégories :

- étalonnage opérationnel du système combiné de mesure et d'analyse;
- étalonnage de base du transducteur;
- étalonnage supplémentaire du transducteur.

### 6.1 Étalonnage opérationnel

L'étalonnage opérationnel du système combiné de mesure et d'analyse doit être effectué au début et à la fin de chaque série de mesures (et à des intervalles intermédiaires si requis). Les méthodes détaillées seront indiquées dans les parties correspondantes de l'ISO 7626 concernant les différents types de mesures de mobilité, énumérés au chapitre 0.

L'étalonnage du système combiné est facile à effectuer, plus précis et d'une utilisation plus large que l'étalonnage de base examiné au chapitre 7. L'étalonnage du système revient à animer, dans un espace libre une masse libre connue alors que les gains du canal de force et d'accélération sont réglés sur les valeurs qui seront utilisées lors des mesures ultérieures. Le rapport de sortie doit suivre la ligne de masse appropriée sur la courbe de mobilité en résultant. Si des difficultés surgissent lors de l'étalonnage du système combiné, un étalonnage de base doit être exécuté.

La précision de l'échelle de fréquence de la courbe de réponse ou des autres sorties de données doit toujours être vérifiée au cours de l'étalonnage opérationnel.

### NOTES

1 Un exemple d'une courbe de mobilité obtenue, montrant l'effet de la souplesse de la fixation du capteur d'impédance, est illustré à l'annexe C.

2 Il n'est habituellement pas nécessaire d'effectuer un étalonnage du déphasage à condition que les accéléromètres, les transducteurs de force et les amplificateurs soient choisis de manière à avoir une réponse à peu près plate sur toute la gamme de fréquences utilisée pour les mesures de mobilité, et que l'accéléromètre soit conçu pour un faible amortissement. Il est toutefois de bonne pratique d'afficher l'angle de phase entre les sorties du transducteur de force et de l'accéléromètre, au moyen d'un comparateur de phase, et de noter tout écart, par rapport à l'angle de phase correct, entre les sorties du transducteur de force et de l'accéléromètre pendant que l'on procède à l'étalonnage opérationnel.

### 6.2 Étalonnage de base et étalonnage supplémentaire du transducteur

L'étalonnage de base et l'étalonnage supplémentaire (voir tableau 2) ont pour but de déterminer l'aptitude du transducteur à être utilisé pour des mesures de mobilité. On emploie, le plus souvent, des transducteurs piézo-électriques. Si on a recours à d'autres types de transducteurs, les méthodes peuvent être éventuellement modifiées pour vérifier l'aptitude de ces transducteurs.

Les transducteurs exhibant des changements de caractéristiques lors des étalonnages de base ou supplémentaire ne doivent pas être utilisés si ces changements sont inacceptables comme indiqué dans les chapitres pertinents de la présente partie de l'ISO 7626.

Tableau 2 — Liste récapitulative des étalonnages et essais des transducteurs

Étalonnage ou essai	Accéléromètre		Transducteur de force	
	De base	Supplémentaire	De base	Supplémentaire
Sensibilité	7.2.1		7.2.2	
Impédance électrique	7.3		7.3	
Dimensions		8.2		8.2
Masse		8.3		8.3
Masse effective d'extrémité				8.4
Souplesse du transducteur				8.5
Polarité		8.6		8.6
Réponse en fréquence		8.7.1		8.7.2
Linéarité		8.8.1		8.8.2
Sensibilité à la température		8.9.1 et 8.9.2		8.9.1 et 8.9.2
Sensibilité transversale		8.9.4		
Sensibilité aux contraintes		8.9.5		

Les transducteurs destinés à être utilisés avec des amplificateurs particuliers ou avec des conditionneurs de signal doivent être étalonnés dans les conditions de l'emploi prévu. Par exem-

ple, les transducteurs de force piézo-électriques, les capteurs d'impédance et les accéléromètres devant être utilisés avec des amplificateurs de charge ou avec des amplificateurs à forte tension d'impédance doivent être étalonnés avec l'amplificateur qui leur sera associé. Pour ces transducteurs, il est important de connaître la capacité des câbles reliant le transducteur à l'amplificateur. Les transducteurs doivent être étalonnés ensemble avec le câble prévu. Les autres types de transducteurs doivent être étalonnés avec leur dispositif de conditionnement du signal prévu en tenant compte des spécifications du fabricant en ce qui concerne l'excitation électrique, l'impédance des terminaisons spéciales, etc.

Quand on procède à l'étalonnage des transducteurs de force et des capteurs d'impédance, on devra veiller à observer des conditions de montage similaires à celles spécifiées par le fabricant. Il est important de respecter la planéité du support de montage et le couple de serrage des vis de fixation. Un léger film d'huile, de graisse ou de cire, entre le transducteur et la surface de montage, peut augmenter le couplage et la rigidité du transducteur lors d'une utilisation à des fréquences élevées. Quand des fixations particulières sont utilisées, on devra s'efforcer d'effectuer l'étalonnage du transducteur de force en utilisant un assemblage mécanique ressemblant étroitement à celui employé lors des mesures de mobilité.

## 7 Étalonnage de base du transducteur piézo-électrique

### 7.1 Généralités

Toutes les opérations d'étalonnage de base et les essais énumérés au tableau 2 doivent être effectués par le fabricant sur chaque transducteur et les résultats doivent figurer sur la documentation technique accompagnant le transducteur. L'étalonnage de base doit être répété périodiquement par l'utilisateur (ou par un laboratoire privé d'étalonnage, si l'utilisateur ne dispose pas des installations et équipements nécessaires).

La périodicité recommandée pour le renouvellement de l'étalonnage et des essais est d'un an. En outre, l'étalonnage de sensibilité doit être répété plus fréquemment, surtout si le transducteur est soumis à des conditions pouvant modifier sa sensibilité.

### 7.2 Sensibilité

#### 7.2.1 Sensibilité de l'accéléromètre

La sensibilité de l'accéléromètre ou de la partie accéléromètre d'un capteur d'impédance doit être déterminée par la méthode de comparaison. L'étalonnage est effectué sur une table à secousses appropriée, équipée d'un accéléromètre de référence, préalablement étalonné au moyen de ou par référence à un étalonnage absolu. L'amplitude d'étalonnage doit se situer dans l'intervalle communément observé lors des mesures réelles de mobilité, soit entre 1,0 et 100 m/s<sup>2</sup>.

L'étalonnage de sensibilité doit être effectué pour une seule fréquence, en principe 80 Hz.

NOTE — Une fréquence différente peut être utilisée si la valeur de 80 Hz est en dehors de la gamme de fréquences propre au transducteur ou si une autre fréquence est plus appropriée pour un transducteur de conception particulière, ou pour l'application expérimentale du transducteur.

En ce qui concerne les accéléromètres conçus pour être utilisés avec un amplificateur de charge, les unités de sensibilité de l'accéléromètre doivent être exprimées en picocoulombs par mètre par seconde carrée [pC/(m/s<sup>2</sup>)]. En ce qui concerne les accéléromètres employés avec un amplificateur de tension et les accéléromètres incorporant un amplificateur de charge ou un transformateur d'impédance, les unités de sensibilité de l'accéléromètre doivent être exprimées en volts par mètre par seconde carrée [V/(m/s<sup>2</sup>)].

NOTE — Comme le signal de sortie d'un amplificateur de charge ou de tension, associé à un accéléromètre, est toujours une tension, la sensibilité correspondante du canal d'accélération devrait toujours être exprimée en volts par mètre par seconde carrée [V/(m/s<sup>2</sup>)]. En général, la sensibilité du canal d'accélération est déterminée à partir des sensibilités déjà connues de l'accéléromètre et de l'amplificateur; dans les cas où on demande une extrême précision des mesures de mobilité, l'accéléromètre et son amplificateur devraient être étalonnés ensemble pour obtenir directement la sensibilité du canal d'accélération.

#### 7.2.2 Sensibilité du transducteur de force

Les transducteurs de force et la partie force des capteurs d'impédance doivent être étalonnés en utilisant la technique de charge par une masse.

L'étalonnage de sensibilité doit être effectué par le montage du transducteur de force sur une table à secousses appropriée et en utilisant le couple de précharge recommandé par le fabricant. Le transducteur de force doit être soumis à une vibration d'amplitude d'accélération contrôlée,  $a_0$ , en fixant sur sa face opposée un seul accéléromètre de référence. On doit mesurer la tension de sortie de l'amplificateur du transducteur de force,  $E_0$ , et l'accélération appliquée,  $a_0$ . Une masse de charge,  $m$ , doit alors être fixée sur la face opposée du transducteur sans modifier les réglages de gains de l'amplificateur. La tension de sortie,  $E_M$ , doit être mesurée en réglant la table à secousses de manière que l'accélération appliquée,  $a$ , ait exactement la même amplitude que précédemment (soit  $a = a_0$ ). La sensibilité du canal de force,  $S_f$ , est alors donnée par l'équation suivante:

$$S_f = \frac{E_M - E_0}{(m + m_1 + m_2 + m_3)a - (m_1 + m_2 + m_3)a_0} \quad \dots (1)$$

où

$m$  est la masse de charge;

$m_1$  est la masse d'accéléromètre de référence;

$m_2$  est la masse effective du boulon;

$m_3$  est la masse effective d'extrémité du transducteur de force.

Toutes les masses sont exprimées en kilogrammes et les accélérations sont exprimées en mètres par seconde carrée. Comme  $(m_1 + m_2 + m_3)a_0 = (m_1 + m_2 + m_3)a$ , puisque  $a_0 = a$ , l'équation (1) prend la forme:

$$S_f = \frac{E_M - E_0}{ma} \quad \dots (2)$$

NOTE — Si les transducteurs de force ne sont pas pré-assemblés, on devrait veiller avec le plus grand soin à ce que la précharge de montage ne subisse aucune modification d'une application à l'autre puisque la sensibilité et l'étalonnage dépendent de la précharge du transducteur.

L'équation (2) donne la sensibilité du canal de force (à savoir la combinaison transducteur/amplificateur) en volts par newton. La sensibilité du transducteur de force tout seul peut être déduite de l'équation (2) et de la sensibilité de l'amplificateur utilisé.

En ce qui concerne les transducteurs utilisés avec un amplificateur de charge, les unités de sensibilité du transducteur de force doivent être exprimées en picocoulombs par newton. Pour les transducteurs utilisés avec un amplificateur de tension, les unités de sensibilité du transducteur doivent être exprimées en volts par newton.

NOTE — Dans les cas où des mesures très précises de mobilité sont requises, le transducteur de force et l'amplificateur devant être utilisé avec celui-ci, devraient être étalonnés ensemble de manière à obtenir directement la sensibilité totale du canal de force.

La méthode décrite ci-dessus n'est valable que pour des fréquences étant d'environ un cinquième de la fréquence de résonance due à la masse du système et à la raideur,  $k$ , du transducteur de force. Cette résonance peut être estimée au moyen de l'équation suivante:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{k}{(m + m_1 + m_2 + m_3)} \right]^{1/2} \quad \dots (3)$$

où  $f_n$  est la fréquence de résonance du transducteur chargé par une masse, exprimée en hertz.

### 7.2.3 Sensibilité du capteur d'impédance

La sensibilité d'un capteur d'impédance peut être obtenue par un étalonnage individuel de l'accéléromètre et du transducteur de force, à l'aide des méthodes données en 7.2.1 et 7.2.2 respectivement. L'étalonnage sur place d'un capteur d'impédance consiste habituellement à animer d'un mouvement, deux ou trois masses libres de taille différente. Ceci assure que le capteur d'impédance est apte à mesurer des mobilités connues sur une échelle de grande étendue.

## 7.3 Impédance électrique

### 7.3.1 Résistance et capacité du transducteur

La résistance en courant continu entre les bornes du transducteur doit être mesurée par le fabricant à l'aide d'un mégohmmètre en appliquant une tension ne dépassant pas 50 V.

La capacité doit être mesurée avec un pont d'impédance, en utilisant une tension d'excitation située à l'intérieur de la gamme de fréquences de fonctionnement du transducteur. Si la capacité change avec la fréquence, la mesure doit être faite au minimum sur deux fréquences dont l'une doit correspondre à la fréquence pour laquelle est déterminée la sensibilité de référence. Pour les transducteurs dont la capacité ne change pas de façon significative avec la fréquence, la mesure doit habituellement être effectuée à 1 000 Hz.

Comme la capacité de certains matériaux piézo-électriques se modifie avec la température et avec la tension, la mesure de la capacité doit être effectuée à température ambiante (20 à 30°C) et sous la tension d'excitation recommandée par le fabricant du transducteur. Les variations de température peuvent être minimisées en évitant toute manipulation, immédiatement avant ou pendant les mesures de capacité.

NOTE — Dans le cas de certains transducteurs contenant des composants électroniques internes, les mesures d'impédance indiquées ci-dessus peuvent produire des résultats imprécis ou même provoquer des détériorations. Dans ce cas, on devrait utiliser des méthodes d'insertion.

Les mesures de résistance et de capacité doivent être répétées à des intervalles réguliers (voir 7.1). Comme ces mesures ne sont généralement pas très précises, on ne devra tenir compte que des écarts notables par rapport aux étalonnages précédents. Par exemple, si la résistance et/ou la capacité varient de plus de 5 %, le transducteur doit être vérifié en exécutant toutes les opérations de base et les opérations supplémentaires d'étalonnage, ou il doit être réparé selon ce qui est requis.

### 7.3.2 Résistance d'isolement

Les résistances en courant continu entre toutes les bornes du transducteur et son support de montage doivent être mesurées et indiquées dans les caractéristiques techniques fournies par le fabricant.

Si le transducteur n'est pas du type isolé, le fabricant doit spécifier la nature du montage approprié assurant l'isolement quand on utilise le transducteur (voir 5.1).

## 8 Étalonnages supplémentaires

### 8.1 Généralités

Les étalonnages et essais supplémentaires indiqués au tableau 2 doivent être effectués par le fabricant sur des échantillons de chaque type de transducteurs fabriqués. Certains de ces essais et étalonnages doivent également être effectués par l'utilisateur afin de vérifier l'état d'un transducteur qui présente des caractéristiques de fonctionnement particulières ou des variations de performance.

### 8.2 Dimensions

On doit indiquer toutes les dimensions appropriées telles que hauteur, largeur, longueur et diamètre, ainsi que les dimensions des trous de montage ou des goujons de fixation. Ces dimensions doivent apparaître sur un plan ou un croquis d'ensemble. On doit fournir également une description des connecteurs et des types et tailles des câbles de raccordement.

### 8.3 Masse

La masse spécifiée doit être la masse totale du transducteur, à l'exclusion des goujons de montage et des câbles non incorporés dans le transducteur.

### 8.4 Masse effective d'extrémité des transducteurs de force et des capteurs d'impédance

La masse effective d'extrémité des transducteurs de force et des capteurs d'impédance est la masse située entre les éléments sensibles à la force et l'extrémité du transducteur en cause. Cette masse doit être stipulée dans les spécifications du fabricant. Toutefois, l'utilisateur doit savoir que la masse effec-