

---

---

**Matériaux métalliques — Étalonnage  
de la force dynamique uniaxiale pour  
les essais de fatigue —**

**Partie 1:  
Systèmes d'essai**

*Metallic materials — Dynamic force calibration for uniaxial fatigue  
testing —  
Part 1: Testing systems*

ISO 4965-1:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6fd0e032-4acd-4f76-8c36-5c66a4c9f0fc/iso-4965-1-2012>



iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 4965-1:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6fd0e032-4acd-4f76-8c36-5c66a4c9f0fc/iso-4965-1-2012>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2012

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

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes, définitions et symboles</b> .....	<b>1</b>
<b>4 Exigences générales</b> .....	<b>3</b>
4.1 Température .....	3
4.2 Système d'essai dynamique .....	3
4.2.1 Étalonnage statique .....	3
4.2.2 Fréquences d'étalonnage .....	3
4.2.3 Plage de forces dynamiques .....	4
4.2.4 Système de mise en charge .....	4
4.2.5 Montage de l'équipement d'étalonnage dynamique (DCD) .....	5
4.2.6 Système d'essai dynamique .....	5
4.2.7 Instrumentation DCD .....	5
<b>5 Mode opératoire</b> .....	<b>5</b>
5.1 Vérifications initiales .....	5
5.1.1 Bande passante du système .....	5
5.1.2 Répétabilité de force appliquée .....	6
5.2 Mode opératoire d'étalonnage .....	7
5.2.1 Étalonnage statique de DCD .....	7
5.2.2 Étalonnage dynamique de l'indication de force du système d'essai .....	8
<b>6 Calcul des résultats</b> .....	<b>8</b>
6.1 Calcul des forces DCD et des étendues de forces mesurées .....	8
6.2 Éprouvette réplique — Méthode A .....	8
6.3 Enveloppe de souplesse — Méthode B .....	9
<b>7 Rapport</b> .....	<b>10</b>
7.1 Informations générales .....	10
7.2 Résultats de l'étalonnage dynamique .....	11
7.3 Ré-étalonnage .....	11
<b>Annexe A (normative) Lignes directrices sur le réétalonnage à fournir à l'utilisateur</b> .....	<b>12</b>
<b>Annexe B (informative) Lignes directrices sur l'estimation de la largeur de bande de l'instrumentation du système d'essai</b> .....	<b>13</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>14</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 Normes internationales sont rédigées conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. 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.

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.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 164, *Essais mécaniques des métaux*, sous-comité SC 5, *Essais de fatigue*.

Cette première édition de l'ISO 4965-1, avec l'ISO 4965-2, annule et remplace l'ISO 4965:1979, qui a fait l'objet d'une révision technique.

L'ISO 4965 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Matériaux métalliques — Étalonnage de la force dynamique uniaxiale pour les essais de fatigue*:

- *Partie 1: Systèmes d'essai*;
- *Partie 2: Instrumentation pour équipement d'étalonnage dynamique (DCD)*.

## Introduction

Lors d'un essai dynamique, la force subie par l'éprouvette ( $F_i$ ) peut différer de manière significative de la force indiquée par le système d'essai ( $F_j$ ). Les erreurs dynamiques résultent de forces d'inertie agissant sur la cellule de force et de toute erreur dynamique dans l'électronique du système d'indication de force. Les forces d'inertie sont égales à la masse des amarrages (interposée entre le capteur de force et l'éprouvette) multipliée par son accélération locale et dépendent donc

- a) de l'amplitude du mouvement,
- b) de la fréquence de mouvement, et
- c) de la masse des amarrages.

L'amplitude du mouvement dépend à son tour de la force appliquée et de la configuration mécanique du système d'essai, y compris les souplesses du système de mise en charge, de l'éprouvette, du bâti et du socle de la machine. Pour une fréquence donnée et sur une plage de forces donnée, différentes combinaisons de valeurs de souplesse conduisent à différentes amplitudes de mouvement [le mouvement d'un mors de serrage tenant une éprouvette très souple peut même aller dans le sens opposé (anti-phase) à celui du même mors de serrage tenant une éprouvette beaucoup plus rigide].

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 4965, il doit exister une relation linéaire entre la force appliquée et le déplacement de l'actionneur. En utilisant la Méthode A et le facteur de correction calculé, le système de mesurage de la force sera étalonné dynamiquement à 1 % près de la plage de forces appliquée. En utilisant la Méthode B et deux équipements d'étalonnage dynamique (DCD) de souplesses différentes, le système de mesurage de la force sera étalonné dynamiquement à 1 % près de la plage de forces appliquée si l'éprouvette réelle a une souplesse comprise entre celles des deux DCD.

*Méthode A (méthode de l'éprouvette réplique)* – Cette méthode est utilisée pour étalonner un système d'essai dynamique avec un DCD, permettant de corriger des erreurs jusqu'à 10 % dans la plage de forces indiquée, à l'aide d'un facteur de correction déterminé. Le DCD doit avoir la même souplesse et la même masse que les échantillons à soumettre à essai et l'ensemble du système de mise en charge doit être identique à celui qui sera utilisé pour l'essai réel. Avant de commencer une nouvelle série d'essais dynamiques, le facteur de correction reliant l'étendue de forces indiquée ( $\Delta F_j$ ) à l'étendue de forces de l'éprouvette ( $\Delta F_i$ ) peut être déterminé à l'aide d'une éprouvette réplique à jauge de déformation. Ce facteur peut être appliqué soit pour corriger les résultats, soit pour modifier la force appliquée par le système d'essai, réduisant l'erreur de force dynamique à moins de 1 %. Ce facteur de correction dépend de la fréquence d'essai et doit donc être déterminé sur toute la plage de fréquences d'essai prévues.

*Méthode B (méthode de l'enveloppe de souplesse)* – Cette méthode est utilisée pour étalonner un système d'essai dynamique pour une utilisation avec une configuration d'éprouvettes différentes, en utilisant deux DCD de souplesses différentes. Il convient que le DCD à faible souplesse ait une souplesse inférieure à celle de toute éprouvette à soumettre à essai et que le DCD à haute souplesse ait une souplesse supérieure à celle de toutes les éprouvettes. Une enveloppe opérationnelle de la souplesse des éprouvettes par rapport à la fréquence peut être établie pour le système d'essai, dans laquelle les erreurs dynamiques sont maintenues à moins de 1 % de la plage de forces appliquées. Il est tenu pour acquis que la souplesse du système de mise en charge est négligeable par rapport à la souplesse de n'importe quel DCD. Si tel n'est pas le cas, et si la machine doit être utilisée avec des valeurs de souplesse du système de mise en charge variables, des essais d'étalonnage supplémentaires devront être effectués.



# Matériaux métalliques — Étalonnage de la force dynamique uniaxiale pour les essais de fatigue —

## Partie 1: Systèmes d'essai

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 4965 décrit deux méthodes (voir Introduction) pour déterminer la relation entre l'étendue de la force dynamique ( $\Delta F_d$ ) appliquée à une éprouvette dans un essai d'amplitude uniaxiale, sinusoïdale et constante et l'étendue de la force ( $\Delta F_s$ ) indiquée par le système d'essai.

Ces méthodes s'appliquent aux systèmes d'essai dynamiques fonctionnant loin des fréquences de résonance du système et conviennent aux systèmes d'essai dans lesquels les erreurs de mesure de la force dynamique sont inconnues ou peuvent dépasser 1 % de l'étendue de la force appliquée.

Les erreurs de mesure de la force dynamique sont déterminées par comparaison des forces maximales indiquées par le système d'essai dynamique avec celles qui sont mesurées par l'équipement d'étalonnage dynamique (DCD) à jauge de déformation. Ce DCD a été au préalable étalonné en statique (voir [5.2.1](#)) par rapport à l'indicateur du système d'essai.

Pour la Méthode A (*méthode de l'éprouvette réplique*), l'étalonnage dynamique n'est applicable qu'à la plage de fréquences validée pour ce type d'éprouvette. Un facteur de correction dépendant de la fréquence est applicable pour la correction des erreurs de mesure de force dynamique allant jusqu'à 10 % de la plage de forces dynamiques. En utilisant un tel facteur de correction, l'erreur réelle de mesure de la force dynamique sur l'éprouvette sera réduite à moins de 1 % de la plage de forces dynamiques.

Pour la Méthode B (*méthode de l'enveloppe de souplesse*), l'étalonnage dynamique est applicable sur la plage de fréquences d'essai validée pour les éprouvettes dont la souplesse est comprise entre celles des deux DCD. Aucun facteur de correction n'est applicable, car la Méthode B n'autorise pas des erreurs de mesure de force dynamique supérieures à 1 % de la plage de forces dynamiques.

NOTE L'[Annexe A](#) donne des indications sur le moment où il convient de réétalonner le système par les méthodes décrites dans la présente partie de l'ISO 4965.

### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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 7500-1, *Matériaux métalliques — Étalonnage et vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux — Partie 1: Machines d'essai de traction/compression — Étalonnage et vérification du système de mesure de force*

ISO 4965-2, *Matériaux métalliques — Étalonnage de la force dynamique uniaxiale pour les essais de fatigue — Partie 2: Instrumentation pour équipement d'étalonnage dynamique*

### 3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 4965, les termes, définitions et symboles de l'ISO 4965-2 ainsi que les suivants, s'appliquent. La [Figure 1](#) donne un schéma de l'installation d'étalonnage.

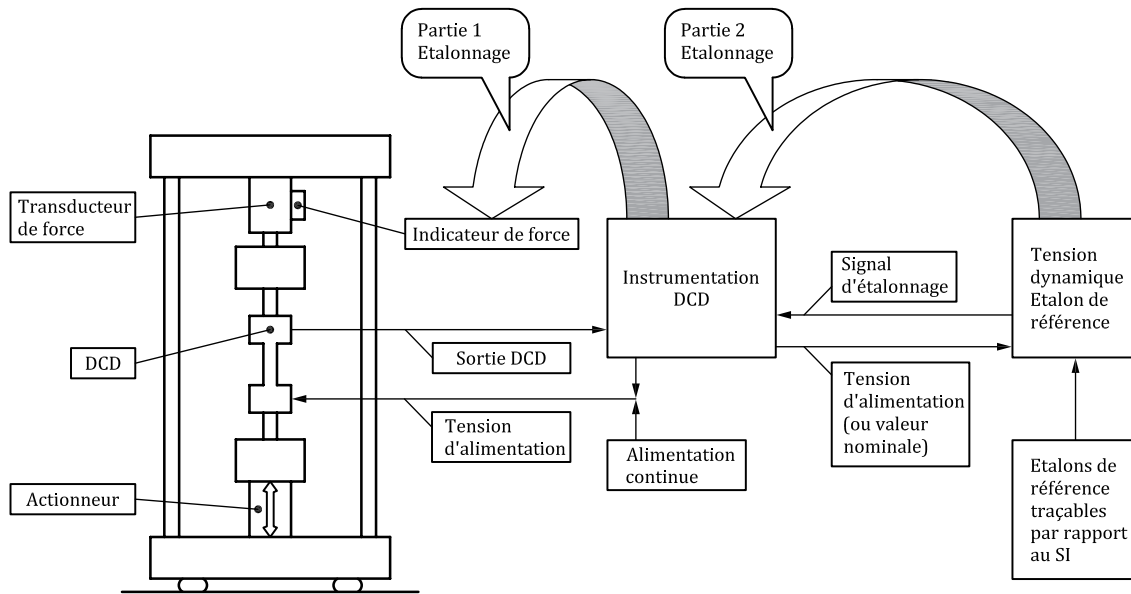


Figure 1 — Schéma de la méthodologie d'étalonnage ISO 4965

**3.1**  
**facteur de correction**

*C*

rapport entre l'étendue de force dynamique déterminée par un DCD ( $\Delta F_{DCD}$ ) et l'étendue de la force dynamique indiquée par le système d'essai ( $\Delta F_i$ ), à la même fréquence d'essai

**3.2**  
**DCD**

**équipement d'étalonnage dynamique**

éprouvette réplique à jauge de déformation (ou, pour la Méthode B, dispositif de contrôle) qui, pour la Méthode A, a la même masse et la même souplesse que les éprouvettes à soumettre à essai ou qui, pour la Méthode B, a une souplesse connue

**3.3**  
**force DCD**

$F_{DCD}$

force mesurée par le DCD, calculée à partir de  $i_{DCD}$  après étalonnage statique par rapport au système d'essai

NOTE Voir les [Formules \(2\)](#) et [\(3\)](#).

**3.4**  
**indication DCD**

$i_{DCD}$

sortie de l'instrumentation DCD

NOTE Étant donné que l'instrumentation DCD doit avoir été étalonnée au préalable par rapport à des étalons électriques, l'indication DCD est exprimée en unités électriques telles que mV ou mV/V.

**3.5**  
**instrumentation DCD**

instruments utilisés conjointement avec le DCD, y compris l'électronique de conditionnement et l'affichage de sortie du pont de jauges de déformation

NOTE L'instrumentation DCD peut également fournir la tension d'alimentation du DCD: elle peut donc afficher la sortie du DCD sous forme d'un ratio en mV/V.



**3.6****plage de forces dynamiqués** $\Delta F$ 

différence entre les valeurs maximale (crête) et minimale (vallée) de force dans des conditions cycliques

**3.7****système d'essai dynamique**

combinaison d'un actionneur, d'un bâti, d'un système de mise en charge et d'une instrumentation utilisée pour effectuer l'essai de force cyclique, indiquant les valeurs appliquées de force de crête et de vallée

**3.8****force indiquée** $F_i$ 

force mesurée par la cellule de force étalonné statiquement du système d'essai dynamique et indiquée par ses instruments, dans des conditions statiques et dynamiques

**3.9****erreur d'indication** $e_i$ 

différence dans les étendues des forces indiquées par l'instrumentation du système d'essai et l'instrumentation DCD, exprimée en pourcentage de l'étendue de force DCD

**3.10****système de mise en charge**

tous les composants, à l'exclusion de l'éprouvette/du DCD, qui transmettent la force entre l'actionneur et l'ossature de réaction du système d'essai dynamique, y compris les cellules de force, les adaptateurs, les mors de serrage et autres dispositifs de fixation

**4 Exigences générales**

ISO 4965-1:2012

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6fd0e032-4acd-4f76-8c36-5c66a4c9f0fc/iso-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6fd0e032-4acd-4f76-8c36-5c66a4c9f0fc/iso-4965-1-2012)**4.1 Température**

4965-1-2012

La température ambiante à laquelle l'étalonnage dynamique du système d'essai dynamique uniaxial est effectué doit être enregistrée. Il est recommandé que l'étalonnage soit effectué à une température ambiante constante et il convient de veiller à protéger le DCD contre les courants d'air et la lumière directe du soleil.

**4.2 Système d'essai dynamique****4.2.1 Étalonnage statique**

Le système d'essai dynamique doit avoir un certificat d'étalonnage statique valide, conforme à l'ISO 7500-1, classe 1 au minimum, pour les conditions de charge appropriées.

**4.2.2 Fréquences d'étalonnage**

Le système d'essai dynamique doit être étalonné dynamiquement sur la plage de fréquences pour lesquelles l'essai dynamique doit être effectué, à l'exception de toutes les fréquences d'essai auxquelles une résonance du système affecte l'exactitude du système de mesure de force, comme spécifié en [5.1.1](#). Il est également recommandé que, pour maintenir les erreurs d'amplitude inférieures à 0,2 %, la fréquence maximale d'essai ne dépasse pas 25 % de la largeur de bande de l'instrumentation du système d'essai (voir [Annexe B](#)) pour les systèmes de filtre à deux pôles, ou 6 % de cette largeur de bande pour les systèmes de filtre à un seul pôle.

Le filtrage des forces mesurées affecte directement leur exactitude dynamique. Par conséquent, tout filtre doit être ajouté avant d'effectuer l'étalonnage dynamique. L'étalonnage n'est valable qu'avec les filtres utilisés au moment de l'étalonnage.

Si la Méthode B est utilisée, la même plage de fréquences doit être utilisée pour chacun des deux DCD. Les fréquences de résonance du système conduisent à des zones localisées conduisant à une augmentation d'erreurs. Il faut veiller à identifier ces zones, avec les deux DCD, de sorte que les essais réels ne soient pas effectués à des fréquences où des erreurs excessives se produisent.

#### 4.2.3 Plage de forces dynamiques

Les niveaux finaux de force indiquée utilisés pour le mode opératoire d'étalonnage dynamique doivent se situer dans la plage de forces étalonnée statiquement du système d'essai dynamique et aux valeurs de crête prévues pour l'éprouvette. L'étendue de la force d'étalonnage dynamique doit également être comprise entre 10 % et 100 % de la capacité dynamique de chaque DCD. L'étendue de la force dynamique doit ou bien passer par zéro, ou bien être en traction uniquement, ou bien en compression uniquement. Les étalonnages dynamiques en traction uniquement ne sont pas valables en compression, et inversement. Les étalonnages à zéro vérifient à la fois la traction et la compression. La présente partie de l'ISO 4965 exige que, si une plage de forces unique est utilisée pour l'étalonnage dynamique, il existe à chaque fréquence d'essai une relation linéaire (bien que pouvant aussi être différente) entre la force appliquée et le déplacement de l'actionneur. Une façon de démontrer cela consiste à enregistrer puis à tracer la position de l'actionneur en fonction de la force appliquée pendant ou après l'étalonnage de la force statique de la machine.

NOTE Les erreurs d'inertie sont proportionnelles à l'accélération et donc également au déplacement: une relation linéaire entre la force et le déplacement garantit que les erreurs d'inertie sont proportionnelles à la force et donc constantes en proportion de la plage de forces, ce qui permet d'effectuer l'étalonnage sur une unique plage de forces.

En l'absence de relation linéaire entre la force appliquée et le déplacement de l'actionneur, plusieurs étalonnages de plage de forces dynamiques sont nécessaires avant que le système ne soit considéré comme étant étalonné dynamiquement.

Il convient que les valeurs de crête et de vallée utilisées soient à l'intérieur du domaine d'analyse du dispositif d'étalonnage.

Dans la Méthode B, les plages de forces dynamiques utilisées pour les deux DCD peuvent être différentes, mais la même plage de fréquences doit être utilisée.

#### 4.2.4 Système de mise en charge

Pour la Méthode A, les montages et équipements du système de mise en charge utilisés pour l'essai dynamique réel doivent être utilisés et le DCD doit avoir la même masse, la même souplesse et le même amortissement que les éprouvettes à soumettre à l'essai (c'est-à-dire qu'il convient que ce soit une éprouvette normalisée sur laquelle des jauges de déformation sont fixées).

Pour la Méthode B, l'étalonnage doit être effectué à l'aide d'un système de mise en charge ayant la plus grande masse à utiliser lors des essais ultérieurs, car il convient de générer un maximum d'erreurs d'inertie. Une modification significative de la souplesse du système de mise en charge affectera également les erreurs dynamiques générées.

Si la machine doit être utilisée pour les éprouvettes utilisant des systèmes de mise en charge de différentes valeurs de souplesse (par exemple, en utilisant des rallonges pour utilisation dans un four), les étapes suivantes doivent être suivies.

- Déterminer la souplesse ( $C_1$ ) du DCD le moins souple (il convient de se procurer cette valeur auprès du fabricant).
- Déterminer la plage de souplesses ( $\Delta C = C_{\text{maximum}} - C_{\text{minimum}}$ ) des systèmes de mise en charge à utiliser (cela peut se faire en mesurant le déplacement de l'actionneur à la même force, avec la même éprouvette).

- Si  $\Delta C > C_1/10$ , les deux DCD doivent être utilisés pour étalonner la machine en utilisant à la fois le système de mise en charge de souplesse maximale et le système de mise en charge de souplesse minimale.

#### 4.2.5 Montage de l'équipement d'étalonnage dynamique (DCD)

Le DCD doit être monté dans le système de mise en charge et fixé au même endroit que l'éprouvette pendant l'essai réel.

#### 4.2.6 Système d'essai dynamique

Le système d'essai dynamique doit être capable de contrôler et d'appliquer une force cyclique répétée sur l'éprouvette et de fournir une lecture de cette force cyclique. En règle générale, un générateur de forme d'onde faisant partie intégrante du système d'essai ou raccordé à celui-ci à l'extérieur est utilisé pour fournir la forme d'onde cyclique de l'essai. La plage de forces d'essai ou les niveaux finaux obtenus sont mesurés et enregistrés. Le système d'essai dynamique doit être capable de maintenir les extrema constants pendant la durée totale de l'essai. Les forces de crête et de creux indiquées par le système d'essai dynamique doivent se répéter dans la limite de 1 % de la plage de forces appliquée pour chaque cycle pendant l'ensemble de l'essai. Le [paragraphe 5.1.2](#) spécifie le mode opératoire utilisé pour vérifier si cette exigence est satisfaite.

#### 4.2.7 Instrumentation DCD

L'instrumentation DCD doit avoir été étalonnée conformément à l'ISO 4965-2. Pour les instruments étalonnés utilisant une tension d'excitation nominale et donnant un affichage en unités de tension, cette valeur de tension d'excitation doit être utilisée lors de l'étalonnage du système d'essai. Pour les instruments qui génèrent leur propre tension d'excitation et donnent une indication en mV/V, les mêmes réglages doivent être utilisés lors de l'étalonnage du système de mesure de force du système d'essai dynamique que ceux qui sont utilisés lors de l'étalonnage ISO 4965-2 de l'instrumentation DCD.

ISO 4965-1:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6fd0e032-4acd-4f76-8c36-5c66a4c9f0fc/iso-4965-1-2012>

## 5 Mode opératoire

### 5.1 Vérifications initiales

#### 5.1.1 Bande passante du système

Le but de cette vérification est de déterminer la plage de fréquences sur laquelle le système d'essai peut être vérifié. Une technique qui peut être utilisée pour contrôler la dynamique de l'ensemble du système de mesure (effets mécaniques et électriques) consiste à casser une éprouvette fragile (en utilisant le contrôle du déplacement) et à enregistrer la modification soudaine du signal de force. La largeur de bande peut alors être calculée comme dans l'[Annexe B](#), qui donne également des indications sur l'estimation de la largeur de bande de l'instrumentation du système d'essai.

Une autre technique qui peut être utilisée pour déterminer des plages de fréquences valides consiste à effectuer un balayage de fréquence, ce qui permet d'identifier des zones d'erreur localisées qui ne suivent pas la tendance générale, en raison de la présence de fréquences de résonance significatives. Augmenter lentement la fréquence d'essai, avec l'étendue de la force cyclique fixée à une amplitude modérée, de manière continue ou par petits paliers du minimum au maximum de la plage d'étalonnage de la fréquence d'essai, chaque DCD étant monté dans le système de mise en charge. Lire et enregistrer les sorties de crête et/ou de vallée du DCD, ou la sortie d'un accéléromètre fixé dans le système de mise en charge, à chaque fréquence d'essai. Tracer l'amplitude des valeurs mesurées par rapport à la fréquence, ajuster une courbe aux points de données et identifier les valeurs individuelles qui s'écartent de la tendance sous-jacente de plus de 5 % de sa valeur. De telles variations transitoires peuvent révéler une résonance du système. Si des variations transitoires sont détectées, réduire la plage de fréquences d'essai à vérifier afin d'éviter les fréquences de résonance du système. La plage de fréquences résultante ne doit couvrir aucune fréquence de résonance du système. Lorsque la méthode B est utilisée, toutes les