

NORME
INTERNATIONALE

ISO
389-3

Première édition
1994-10-01

**Acoustique — Zéro de référence pour
l'étalonnage d'équipements
audiométriques —**

Partie 3:

Niveaux de référence équivalents de force
liminaire pour les vibrateurs à sons purs et les
ossivibrateurs

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso-389-3-1994>

*Acoustics — Reference zero for the calibration of audiometric
equipment —*

*Part 3: Reference equivalent threshold force levels for pure tones and
bone vibrators*



Numéro de référence
ISO 389-3:1994(F)

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 389-3 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 43, *Acoustique*.

Cette première édition de l'ISO 389-3 annule et remplace l'ISO 7566:1987 dont elle constitue une révision mineure.

L'ISO 389 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Acoustique — Zéro de référence pour l'étalonnage d'équipements audio-métriques*:

- *Partie 1: Niveaux de référence équivalents de pression acoustique liminaire pour les écouteurs à sons purs et supra-auraux*
- *Partie 2: Niveaux de référence équivalents de pression acoustique liminaire pour les écouteurs à sons purs et à insertion*
- *Partie 3: Niveaux de référence équivalents de force liminaire pour les vibrateurs à sons purs et les ossivibrateurs*
- *Partie 4: Niveaux de référence pour bruit de masque en bande étroite*
- *Partie 5: Niveaux de référence équivalents de pression acoustique liminaire pour les sons purs dans le domaine de fréquences de 8 kHz à 16 kHz*

© ISO 1994

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

Imprimé en Suisse

- *Partie 6: Niveaux de référence équivalents de pression acoustique liminaire pour signaux acoustiques d'essai de courte durée*
- *Partie 7: Seuil d'audition de référence dans des conditions d'écoute en champ libre et en champ diffus*

La partie 1 sera une réimpression de l'ISO 389:1991.

Les annexes A, B, C, D et E de la présente partie de l'ISO 389 sont données uniquement à titre d'information.

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

[ISO 389-3:1994](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/70e4fc18-f110-409d-a88b-c7e8d6760f56/iso-389-3-1994)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/70e4fc18-f110-409d-a88b-c7e8d6760f56/iso-389-3-1994>

Introduction

Chaque partie de l'ISO 389 spécifie un zéro de référence pour l'étalonnage des équipements audiométriques. L'ISO 389:1991 (à republier comme l'ISO 389-1) et l'ISO 389-2 s'appliquent aux équipements audiométriques pour la transmission de sons purs en conduction aérienne.

Pour le diagnostic clinique et à d'autres fins audiométriques, il est souvent nécessaire de comparer les niveaux liminaires d'audition d'une personne, pour les sons transmis à l'oreille interne, mesurés respectivement par conduction aérienne et par conduction osseuse. Pour la conduction osseuse, les sons sont délivrés à cet effet par un vibreur électromécanique appliqué sur l'apophyse mastoïde de l'os temporal ou sur le front du sujet soumis à l'essai.

Le zéro de référence pour l'étalonnage des équipements audiométriques en conduction aérienne est défini dans l'ISO 389:1991 et dans l'ISO 389-2 en termes de niveaux de référence équivalents de pression acoustique liminaire, c'est-à-dire de niveaux liminaires de pression acoustique produits dans un coupleur, un simulateur ou une oreille artificielle de caractéristiques spécifiées par des écouteurs supra-auraux ou à insertion de différents modèles lorsqu'ils sont excités électriquement à un niveau correspondant au seuil d'audition de sujets jeunes otologiquement normaux. De façon analogue, la présente partie de l'ISO 389 donne un zéro de référence pour l'audiométrie en conduction osseuse, en termes de niveaux de référence équivalents de force liminaire, c'est-à-dire les niveaux de force vibratoire produits par un ossivibrateur sur un coupleur mécanique spécifié lorsque le vibreur est excité électriquement à un niveau correspondant au seuil d'audition de sujets jeunes otologiquement normaux. Dans certains pays, l'endroit préféré pour la mise en place est l'apophyse mastoïde de l'os temporal. Dans d'autres pays, le front est utilisé en plus de l'apophyse mastoïde de l'os temporal. À chacune des deux positions du vibreur correspondent différentes valeurs du niveau de référence équivalent de force liminaire (voir annexe C).

Pour les mesurages en conduction osseuse, il est nécessaire de spécifier la force statique d'application du vibreur sur le crâne du sujet et sur le coupleur mécanique, ainsi que certaines caractéristiques géométriques de la surface de contact du vibreur. De plus, il est habituellement nécessaire d'appliquer un bruit de masque à l'oreille non testée puisque l'excitation du crâne par le vibreur peut être perçue par cette oreille (ou en plus) de l'oreille testée. Une spécification appropriée du bruit de masque est donc requise en plus des niveaux de référence équivalents de force liminaire et cette spécification est donnée dans la présente partie de l'ISO 389. À cause de l'effet dénommé «effet d'occlusion» par lequel le fait de porter le transducteur requis pour délivrer le bruit de masque (en conduction aérienne) provoque un abaissement du niveau liminaire d'audition en conduction osseuse de l'oreille recevant le bruit de masque, il faut augmenter le niveau du bruit de masque afin d'annuler l'effet d'occlusion et de réaliser un masquage approprié de l'oreille non testée. La spécification du bruit de masque donnée dans la présente partie de

L'ISO 389 dérive des procédures utilisées dans les expérimentations qui ont permis d'obtenir le zéro de référence spécifié dans la présente partie de l'ISO 389.

L'emploi de ce zéro de référence pour étalonner les audiomètres garantira que les niveaux liminaires d'audition en conduction osseuse mesurés sur des personnes d'audition normale ou dont les pertes d'audition sont strictement de type neurosensoriel (c'est-à-dire dont le fonctionnement de l'oreille moyenne et externe n'est pas altéré) seront compatibles avec les niveaux liminaires d'audition en conduction aérienne des mêmes personnes, obtenus en utilisant le zéro de référence de l'ISO 389:1991 et de l'ISO 389-2, respectivement. Bien qu'il ne faille pas s'attendre dans chaque cas à une équivalence exacte des niveaux liminaires en conduction aérienne et osseuse à cause de la variabilité biologique de la transmission des sons par l'oreille externe et moyenne et à travers le crâne, la présente partie de l'ISO 389 garantira que les écarts systématiques moyennés sur des groupes de personnes sont réduits à un minimum pratique.

La présente partie de l'ISO 389 est basée sur une évaluation des données techniques fournies par des laboratoires de trois pays utilisant des méthodes de recherche de seuils qui, sur les principes décrits, étaient essentiellement uniformes. L'examen des données a montré que les résultats expérimentaux étaient cohérents. Il a donc été possible de normaliser un zéro de référence au moyen de valeurs de niveau de référence équivalent de force liminaire qui doivent être utilisées pour tous les ossi-vibrateurs employés en audiométrie ayant des caractéristiques similaires à ceux utilisés par les laboratoires. Les incertitudes systématiques introduites par cette simplification délibérée seront faibles par rapport à la largeur habituelle des pas de réglage du niveau d'audition des audiomètres cliniques (5 dB).

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 389-3:1994](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/70e4fc18-f110-409d-a88b-c7e8d6760f56/iso-389-3-1994)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/70e4fc18-f110-409d-a88b-c7e8d6760f56/iso-389-3-1994>

Page blanche

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 389-3:1994

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/70e4fc18-f110-409d-a88b-c7e8d6760f56/iso-389-3-1994>

Acoustique — Zéro de référence pour l'étalonnage d'équipements audiométriques —

Partie 3:

Niveaux de référence équivalents de force liminaire pour les vibrateurs à sons purs et les ossivibrateurs

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 389 spécifie les données suivantes applicables à l'étalonnage des ossivibrateurs pour l'audiométrie à sons purs en conduction osseuse:

- a) Les niveaux de référence équivalents de force liminaire correspondant au seuil d'audition de sujets jeunes otologiquement normaux par audiométrie en conduction osseuse. Le niveau de référence équivalent de force liminaire est le niveau de la force vibratoire transmise à un coupleur mécanique de caractéristiques spécifiées (voir 5.3) par un vibrateur lorsqu'il est appliqué à un coupleur mécanique dans des conditions d'essai données et lorsqu'il est excité au niveau de tension correspondant au seuil normal d'audition pour un positionnement sur l'apophyse mastoïde de l'os temporal.

NOTE 1 Des valeurs provisoires des différences des niveaux de référence équivalents de force liminaire entre le positionnement sur le front et sur l'apophyse mastoïde de l'os temporal sont données pour information en annexe C.

- b) Les caractéristiques principales de l'ossivibrateur et de sa méthode de couplage au sujet soumis à l'essai et au coupleur mécanique.

Les caractéristiques principales et le niveau repère du bruit de masque appliqué à l'oreille non testée.

Des conseils concernant l'application pratique de la présente partie de l'ISO 389 à l'étalonnage des audiomètres sont données à l'annexe B.

NOTE 2 L'ISO 8253-1 donne des procédures recommandées pour réaliser les essais audiométriques en conduction osseuse.

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 partie de l'ISO 389. 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 partie de l'ISO 389 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.

ISO 389:1991, *Acoustique — Zéro normal de référence pour l'étalonnage des audiomètres à sons purs en conduction aérienne.*¹⁾

1) À republier comme ISO 389-1.

ISO 389-2:1994, *Acoustique — Zéro de référence pour l'étalonnage d'équipements audiométriques — Partie 2: Niveaux de référence équivalents de pression acoustique liminaire pour les écouteurs à sons purs et à insertion.*

CEI 373:1990, *Coupleur mécanique destiné aux mesures des ossivibrateurs.*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 389, les définitions données dans l'ISO 389:1991 et dans l'ISO 389-2, ainsi que les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 conduction osseuse: Transmission du son à l'oreille interne essentiellement par vibration mécanique des os crâniens.

3.2 ossivibrateur: Transducteur électromécanique destiné à produire la sensation d'audition en faisant vibrer les os crâniens.

3.3 niveau de force alternative (niveau de force) (d'une vibration): Niveau de force, en décibels, égal à 20 fois le logarithme décimal du rapport de la valeur efficace de la force transmettant la vibration à la valeur de référence, 1 μ N.

3.4 coupleur mécanique: Dispositif destiné à présenter une impédance mécanique spécifiée à un ossivibrateur appliqué avec une force statique spécifiée et équipé d'un transducteur électromécanique pour permettre de déterminer le niveau de force alternative à la surface de contact entre le vibrateur et le coupleur mécanique.

NOTE 3 Un coupleur mécanique est spécifié dans la CEI 373.

3.5 niveau équivalent de force liminaire (écoute monaurale): Pour une oreille donnée, à une fréquence spécifiée, pour une configuration donnée d'ossivibrateur et pour une force d'application donnée de l'ossivibrateur sur l'apophyse mastoïde de l'os temporal humain, niveau de force alternative développé par l'ossivibrateur sur un coupleur mécanique spécifié, lorsque l'ossivibrateur est excité par la tension qui correspondrait au seuil d'audition si l'ossivibrateur était appliqué sur l'apophyse mastoïde de l'os temporal considérée.

3.6 niveau de référence équivalent de force liminaire: À une fréquence spécifiée, valeur moyenne des niveaux équivalents de force liminaire d'un nombre suffisamment grand d'oreilles de sujets

otologiquement normaux des deux sexes âgés de 18 à 30 ans inclusivement, exprimant le seuil d'audition dans un coupleur mécanique spécifié pour une configuration donnée d'ossivibrateur.

3.7 niveau d'audition (d'un son pur): À une fréquence spécifiée, pour un type spécifique de transducteur et pour une façon spécifiée d'application, différence entre le niveau de force alternative (ou niveau de pression acoustique) de ce son pur produit par le transducteur dans un coupleur mécanique spécifié (ou un coupleur acoustique, un simulateur d'oreille, ou une oreille artificielle) et le niveau de référence équivalent de force liminaire (ou le niveau de référence équivalent de pression acoustique liminaire) en conduction osseuse ou aérienne, selon le cas.

NOTE 4 Par extension, cette définition peut être appliquée pour un bruit en bande étroite.

3.8 effet d'occlusion: Abaissement du niveau liminaire d'audition d'une oreille donnée stimulée par conduction osseuse lorsqu'un écouteur ou un bouchon d'oreille est placé sur ou dans l'entrée du conduit auditif externe, formant ainsi un volume d'air clos dans l'oreille externe. L'effet est maximal aux basses fréquences.

3.9 masquage:

(1) Processus par lequel le seuil d'audition d'un son est relevé par la présence d'un autre son (masquant).

(2) Augmentation ainsi obtenue du niveau liminaire d'audition, exprimée en décibels.

3.10 niveau repère du bruit de masque: Niveau, exprimé en niveau d'audition (voir note de 3.7) d'une bande de bruit d'un tiers d'octave, en conduction aérienne, en présence de laquelle un son pur de fréquence égale à la fréquence médiane de la bande de bruit et dont le niveau d'audition est égal à 35 dB est juste audible, sur la base d'un pourcentage de 50 % de détection lors d'essais répétés, par un sujet otologiquement normal ayant un niveau liminaire d'audition de 0 dB en conduction aérienne pour ce son pur.

NOTES

5 La valeur de 35 dB a été adoptée arbitrairement parce qu'elle se trouve dans la gamme utilisée dans les études expérimentales sur lesquelles est basée la présente partie de l'ISO 389. Elle n'implique pas une recommandation d'adopter ce niveau de bruit de masque en pratique clinique.

6 L'ISO 389-4 spécifie la relation entre le niveau du bruit de masque et le niveau du son pur juste masqué par la présence de ce bruit.

3.11 bande critique: Bande de fréquences la plus large à l'intérieur de laquelle la sonie d'une bande de bruit aléatoire, à distribution continue et de niveau de pression acoustique constant, est indépendante de sa largeur de bande.

3.12 niveau liminaire vibrotactile: Niveau de force alternative pour lequel un sujet donne 50 % de réponses correctes de détection lors d'essais répétés, dues à une sensation de vibration sur la peau.

3.13 bruit blanc: Bruit dont la densité spectrale de puissance est indépendante de la fréquence.

4 Niveaux de référence équivalents de force liminaire

Les niveaux de référence équivalents de force liminaire pour positionnement sur l'apophyse mastoïde de l'os temporal sont donnés au tableau 1. Ils résultent de déterminations des seuils d'audition en conduction osseuse de personnes otologiquement normales, tels que mesurés sur l'apophyse mastoïde de l'os temporal, dans les conditions décrites à l'article 5 (voir annexe A).

NOTES

7 Il est souligné que les données du tableau 1 proviennent de résultats obtenus avec différents types d'ossivibrateurs ayant des caractéristiques électromécaniques différentes et appliqués sur la tête de la façon spécifiée. Les procédures utilisées pour compenser les différences des niveaux de masquage utilisés dans les trois études ont peut-être contribué aussi aux différences entre les études.

8 Les valeurs pour les fréquences en dessous de 250 Hz ne sont pas spécifiées dans la présente partie de l'ISO 389. Les résultats provenant d'un laboratoire sont donnés à l'annexe D pour information.

5 Conditions d'essai et spécifications

Les niveaux de référence équivalents de force liminaire s'appliquent lorsque sont satisfaites les conditions d'essai et les spécifications du présent article.

5.1 Ossivibrateur

Le vibreur doit avoir une surface de contact circulaire plate d'aire nominale 175 mm². Tout son aérien rayonné lorsqu'il est en contact avec la tête d'un sujet dont les fonctions de l'oreille moyenne et externe ne sont pas altérées, doit avoir un niveau assez faible pour donner une marge de 10 dB ou plus entre le vrai niveau liminaire d'audition en conduction osseuse et

Tableau 1 — Niveaux de référence équivalents de force liminaire pour le positionnement du vibreur sur l'apophyse mastoïde de l'os temporal

Fréquence Hz	Niveau de référence équivalent de force liminaire ¹⁾ (référence: 1 µN) dB
250	67,0
315 ²⁾	64,0
400 ²⁾	61,0
500	58,0
630 ²⁾	52,5
750 ³⁾	48,5
800 ²⁾	47,0
1 000	42,5
1 250 ²⁾	39,0
1 500 ³⁾	36,5
1 600 ²⁾	35,5
2 000	31,0
2 500 ²⁾	29,5
3 000 ³⁾	30,0
3 150 ²⁾	31,0
4 000	35,5
5 000 ³⁾	40,0
6 000 ³⁾	40,0
6 300 ³⁾	40,0
8 000 ³⁾	40,0

1) Les valeurs sont arrondies à 0,5 dB près.
2) Les valeurs pour ces fréquences sont déduites par interpolation.
3) Les valeurs pour ces fréquences découlent des résultats obtenus dans un seul laboratoire.

un faux niveau liminaire d'audition en conduction aérienne induit par l'ossivibrateur.

Si cette condition n'est pas remplie directement à toutes les fréquences, le rayonnement acoustique indésirable est éliminé en insérant un bouchon d'oreille dans le conduit auditif externe de l'oreille testée aux fréquences qui sont affectées. À cause de l'effet d'occlusion, l'emploi de ce bouchon est limité aux fréquences dépassant 2 000 Hz.

5.2 Mise en place de l'ossivibrateur

Un serre-tête doit être utilisé pour maintenir le vibreur sur l'apophyse mastoïde de l'os temporal avec une force statique nominale de 5,4 N. Le vibreur doit être placé sur l'apophyse mastoïde, sans toucher le pavillon et ajusté de façon à demeurer dans une position stable.

5.3 Coupleur mécanique

Le coupleur mécanique doit être conforme aux spécifications de la CEI 373 (voir annexe B, particulièrement B.3).

NOTE 9 Le coupleur mécanique spécifié dans la première édition (1971) de la CEI 373 étant différent sur des points importants, n'est pas applicable dans le cadre de la présente partie de l'ISO 389.

5.4 Signal d'essai

Le signal de force alternative produit par l'ossivrateur au niveau d'excitation correspondant au tableau 1, tel qu'il est mesuré sur le coupleur mécanique, doit présenter une distorsion harmonique totale ne dépassant pas 1 % pour les fréquences fondamentales de 500 Hz à 1 000 Hz et 2 % pour les fréquences de 250 Hz à 400 Hz incluses et au-delà de 1 250 Hz.

5.5 Bruit de masque

Le signal du bruit de masque doit être obtenu à partir d'un bruit blanc aléatoire, filtré par un filtre passe-bande de largeur d'un tiers d'octave, centré logarithmiquement sur les fréquences du son d'essai données dans le tableau 1.

5.6 Transducteur de masquage

Le signal du bruit de masque doit être appliqué à l'oreille non testée par un écouteur supra-aural ou à insertion conforme à l'une des spécifications de l'ISO 389:1991 ou de l'ISO 389-2, respectivement.

5.7 Fixation du transducteur de masquage

Si un écouteur supra-aural est utilisé pour fournir le bruit de masque, il doit être appliqué à l'oreille non testée du sujet à l'aide d'un serre-tête exerçant une force nominale de 4,5 N, et conçu pour ne pas gêner le serre-tête porté simultanément pour maintenir l'ossivrateur.

Si un écouteur à insertion est utilisé pour fournir le bruit de masque, il doit être appliqué à l'oreille non testée comme spécifié dans l'ISO 389-2.

5.8 Niveau repère du bruit de masque

Le bruit de masque applicable au sujet jeune moyen otologiquement normal doit être présenté au niveau repère spécifié en 3.10.

NOTE 10 Un niveau d'audition constant de 40 dB dans chaque bande de tiers d'octave est la valeur approximative du niveau repère, tel qu'il est défini, bien qu'en principe la valeur dépende légèrement de la fréquence médiane de la bande (à cause de la largeur variable des bandes critiques). La différence entre le niveau d'audition de la bande de bruit et celui du son pur précisée en 3.10 est approximativement égale à 5 dB; elle représente l'écart par lequel le bruit de masque dans une bande critique peut dépasser un son pur, pour un pourcentage de 50 % de détections correctes du son pur (voir ISO 389-4).

ISO 389-3:1994

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/70e4f18-810-409d-e88b-c7e8d6760f56/iso-389-3-1994>

Le niveau repère peut être exprimé en niveau de pression acoustique, en décibels, par rapport à 20 μ Pa, en ajoutant 40 dB aux valeurs de niveau de référence équivalent de pression acoustique liminaire spécifiées dans l'ISO 389:1991 ou l'ISO 389-2, respectivement, pour le modèle d'écouteur utilisé comme transducteur de masquage.

Annexe A (informative)

Notes sur l'obtention des valeurs de niveau de référence équivalent de force liminaire

Origine des données

Les valeurs de niveau de référence équivalent de force liminaire spécifiées dans la présente partie de l'ISO 389 sont obtenues des résultats de trois études expérimentales indépendantes communiquées à l'ISO/TC 43, *Acoustique*. Une brève description des particularités des essais est donnée au tableau A.1.

Tableau A.1 — Études effectuées sur les valeurs de niveau de référence équivalent de force liminaire

Données d'essai	Étude		
	Réf. [1]	Réf. [2]	Réf. [3]
Type de vibreur	B-711 ¹⁾	B-711 ¹⁾	KH-70 ²⁾
Type d'écouteur de masquage	TDH39 ³⁾	TDH39 ³⁾	DT48 ⁴⁾
Niveau du bruit de masque	30 dB effectifs ⁵⁾	Niveau de sensation 25 dB et 40 dB	40 dB effectifs ⁵⁾ à 125 Hz, 250 Hz; 30 dB effectifs ⁵⁾ aux fréquences supérieures
Nombre d'oreilles testées	60	136	50
Nombre de sujets	60	68	25
Fréquences testées, Hz	250, 500, 1 000, 2 000, 3 000, 4 000	250, 500, 1 000, 2 000, 3 000, 4 000	125, 250, 500, 750, 1 000, 1 500, 2 000, 3 000, 4 000, 5 000, 6 000, 6 300, 8 000
1) Fabriqué par Radioear Corporation, États-Unis. 2) Fabriqué par Grahnert Präcitronec, GmbH, Allemagne. 3) Fabriqué par Telephonics Corporation, États-Unis. 4) Fabriqué par Beyer AG, Allemagne. 5) «Niveau effectif de masquage» conforme à la définition donnée dans la réf. [4], Appendix A4.			

Les valeurs des niveaux liminaires d'audition en conduction osseuse utilisées dans l'élaboration de la présente partie de l'ISO 389 n'ont pas été corrigées en fonction des écarts des niveaux liminaires d'audition des sujets, en conduction aérienne, par rapport à 0 dB. Des détails supplémentaires sur l'obtention des valeurs de niveau de référence équivalent de force liminaire sont donnés dans la référence [2].