

NORME  
INTERNATIONALE

**ISO**  
**10814**

Première édition  
1996-09-01

---

---

**Vibrations mécaniques — Susceptibilité et  
sensibilité des machines aux balourds**

**iTeh STANDARD PREVIEW**

*Mechanical vibration — Susceptibility and sensitivity of machines to  
unbalance*

**(standards.iteh.ai)**

ISO 10814:1996

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/74bd8cb8-114a-4552-b672-6b595524eabd/iso-10814-1996>



Numéro de référence  
ISO 10814:1996(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 10814 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*, sous-comité SC 1, *Équilibrage, y compris les machines à équilibrer*.

Les annexes A à C de la présente Norme internationale sont données uniquement à titre d'information.

[ISO 10814:1996](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/74bd8cb8-114a-4552-b672-6b595524eabd/iso-10814-1996)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/74bd8cb8-114a-4552-b672-6b595524eabd/iso-10814-1996>

© ISO 1996

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

## Introduction

L'équilibrage du rotor en cours de fabrication (comme décrit dans l'ISO 1940-1 et l'ISO 11342, par exemple), est normalement suffisant pour atteindre des niveaux de vibrations acceptables en service en l'absence de sources de vibrations autres que les balourds. Il existe toutefois des exceptions pour lesquelles un équilibrage complémentaire se révèle nécessaire au cours de la mise en service. De plus, après leur mise en service, certaines machines peuvent avoir besoin d'un rééquilibrage in situ occasionnel ou même fréquent.

Si les niveaux de vibrations ne sont pas satisfaisants pendant la mise en service, cela peut être dû à un équilibrage inadéquat ou à des erreurs de montage. Cela peut également être imputable au fait qu'une machine montée est particulièrement sensible à des balourds résiduels relativement faibles, se situant bien en deçà des tolérances d'équilibrage normales.

Si le niveau vibratoire n'est pas satisfaisant, la première mesure prise est généralement une tentative de réduction des vibrations par un équilibrage in situ. Si des vibrations élevées peuvent être réduites à l'aide de balourds correcteurs relativement petits, cela indique une sensibilité importante aux balourds. Le cas peut se produire, par exemple, si une vitesse critique est proche de la vitesse de service, et si l'amortissement du système est faible.

Une machine sensible, également très susceptible de connaître une variation de balourd, peut avoir besoin de fréquents rééquilibrages in situ. Cela peut être dû, par exemple, à des variations de paramètres ou d'états tels que l'usure, la température, la masse, la rigidité et l'amortissement au cours du fonctionnement.

Si l'état de déséquilibre et les autres conditions de la machine sont pour l'essentiel constants, un équilibrage occasionnel sur site peut suffire. Sinon, il peut s'avérer nécessaire de modifier la machine pour changer la vitesse critique, l'amortissement ou d'autres paramètres. C'est pourquoi il faut prendre en compte les valeurs de sensibilité acceptables pour la machine.

La répétabilité de la sensibilité de la machine est influencée par divers facteurs et peut varier au cours du fonctionnement. Certaines machines thermiques, en particulier celles équipées de paliers à coussinets, possèdent des caractéristiques modales de vibrations qui varient selon certains paramètres de fonctionnement comme la pression et la température de la vapeur, l'admission de vapeur partielle ou la température de l'huile. En ce qui concerne les machines électriques, d'autres paramètres comme le courant d'excitation peuvent influencer sur le comportement vibratoire. En général, les caractéristiques vibratoires de la machine sont influencées par ses caractéristiques de conception, entre autres au niveau des accouplements du rotor et de son type de support, y compris le massif. Il convient de noter que ces derniers peuvent varier avec le temps par exemple, en raison de l'usure et de la formation de fissures.

Le présent document ne traite que des vibrations à l'harmonique 1 causées par les balourds, cependant, il convient de reconnaître que le balourd n'est pas la seule cause d'une vibration à l'harmonique 1.

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

ISO 10814:1996

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/74bd8cb8-114a-4552-b672-6b595524eabd/iso-10814-1996>

# Vibrations mécaniques — Susceptibilité et sensibilité des machines aux balourds

## 1 Domaine d'application

**1.1** La présente Norme internationale définit les méthodes permettant de déterminer la sensibilité vibratoire d'une machine aux balourds et fournit des critères d'évaluation sous forme d'une fonction de proximité des vitesses critiques par rapport à la vitesse de service.

Elle comprend une classification de certaines machines en groupes par susceptibilité à la variation du balourd.

Elle énonce également des recommandations sur l'application des valeurs numériques de sensibilité, dans des cas particuliers.

**1.2** Les machines sont classées en trois types dans l'article 4 et les valeurs de sensibilité affectées aux différentes catégories de machines sont données dans l'article 5. Il convient d'utiliser les valeurs de sensibilité pour des machines simples, de préférence dotées de rotors n'ayant qu'une seule vitesse critique dans tout le domaine des vitesses de service. Elles peuvent aussi être utilisées pour des machines ayant davantage de vitesses critiques dans le domaine des vitesses de service, si les vitesses critiques sont largement espacées (c'est-à-dire de plus de 20 %).

Les valeurs de sensibilité proposées ne sont pas censées jouer le rôle de critères d'acceptation pour aucune catégorie de machines, mais constituent plutôt des indications sur la manière d'éviter des insuffisances majeures ou des exigences exagérées ou inaccessibles. Elles peuvent également servir de base à des études plus complexes, par exemple dans des cas particuliers où il est nécessaire de connaître plus précisément la sensibilité requise. Si les valeurs proposées sont utilisées comme il convient, on peut s'attendre dans la plupart des cas à un fonctionnement satisfaisant.

La seule prise en compte de ces valeurs ne garantit pas qu'une amplitude donnée de vibrations en service n'est pas dépassée. Il peut y avoir de nombreuses autres sources de vibrations, non traitées dans la présente Norme internationale.

## 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.

ISO 1925:1990, *Vibrations mécaniques — Équilibrage — Vocabulaire*.

ISO 2041:1990, *Vibrations et chocs — Vocabulaire*.

## 3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions données dans l'ISO 1925 et l'ISO 2041, ainsi que les définitions suivantes s'appliquent.

**3.1 susceptibilité à l'égard des balourds:** Indication de la vraisemblance d'une variation significative de balourd pour une machine sur une durée de fonctionnement donnée.

**3.2 sensibilité aux balourds:** Mesure de la réponse vibratoire d'une machine à une variation de balourd.

NOTE 1 Elle s'exprime habituellement de façon numérique de deux manières, décrites en 3.2.1 et 3.2.2.

**3.2.1 sensibilité locale:** Rapport de l'amplitude de la variation du vecteur de déplacement ou de vitesse dans un plan de mesurage donné à l'amplitude de la variation du balourd dans un plan spécifié du rotor et à une vitesse donnée.

En termes techniques, la sensibilité locale peut s'exprimer comme suit:

$$S_{k,r} = \frac{|\Delta \bar{S}_k|}{|\Delta \bar{U}_r|} \quad \dots (1)$$

où

$|\Delta \bar{S}_k|$  est la variation pour une vibration à l'harmonique 1 dans le plan  $k$ ;

$|\Delta \bar{U}_k|$  est la variation du balourd d'essai fixé au plan  $r$  dans le rotor (ou variation des balourds).

NOTE 2 Il est souvent fait allusion à la sensibilité locale en termes de «coefficient d'influence». Il s'agit d'une grandeur dimensionnelle.

**3.2.2 sensibilité modale,  $M_n$ :** Rapport de la variation de l'amplitude du vecteur de déplacement modal à la variation de l'amplitude de l'excentricité modale (balourd modal divisé par la masse modale). C'est une grandeur non dimensionnelle.

En pratique, lors de la détermination de la sensibilité modale, il convient de prendre soin d'isoler les composantes modales significatives.

Il peut être démontré que la sensibilité modale correspondant à une excitation de la machine par un balourd dans un mode  $n$  est:

$$M_n = \frac{\left(\frac{\Omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + 4\zeta_n^2 \left(\frac{\Omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad \dots (2)$$

où

$\Omega$  est la vitesse de rotation;

$\omega_n$  est la vitesse critique de rang  $n$  non amortie;

$\zeta_n$  est le facteur d'amortissement du mode  $n$ .

Dans des conditions où la vitesse de rotation est égale à une vitesse critique,  $M_n$  devient approximativement  $1/(2\zeta_n)$ . Pour un faible amortissement, il s'agit de l'amplification maximale à la résonance indiquée par

$Q_n$ , influencée uniquement par le niveau d'amortissement du système.

NOTE 3 La sensibilité modale est parfois connue sous le nom de facteur d'amplification de vibration dans le mode  $n$ .

## 4 Classification des machines par susceptibilité

### 4.1 Type I: faible susceptibilité

Les machines de ce type ont peu de chance de connaître des variations significatives de balourd en cours de fonctionnement. Elles possèdent habituellement des masses de rotor importantes en comparaison du bâti de soutien et fonctionnent dans un environnement propre, s'usent de manière négligeable et présentent des déformations minimales de rotor, dues aux variations de température.

EXEMPLES:

Trains de machines à papier, trains de machines, d'impression et pompes à vide à grande vitesse.

### 4.2 Type II: susceptibilité modérée

Les machines de ce type ont des chances modérées de connaître des variations significatives de balourd en cours de fonctionnement; ce sont, par exemple, des rotors placés dans un environnement connaissant d'importantes vibrations de température et/ou subissant une usure modérée.

EXEMPLES:

Pompes en milieu propre, enroulements électriques, turbines à gaz et à vapeur, petits turboalternateurs pour applications industrielles et turbocompresseurs.

### 4.3 Type III: susceptibilité élevée

Les machines de ce type ont de fortes chances de connaître des variations significatives de balourd en cours de fonctionnement; ce sont, par exemple, des soufflantes fonctionnant en environnement générateur de dépôts, des pompes à boue, des rotors à usure élevée ou fonctionnant dans des milieux corrosifs.

EXEMPLES:

Centrifugeuses, ventilateurs, transporteuses à vis sans fin et broyeurs à marteaux.

## 5 Valeurs de sensibilité modale

### 5.1 Domaine de sensibilité A à E

Dans les figures 1 à 3, la sensibilité modale pour les vitesses de service est classée au-dessous et au-dessus d'une vitesse critique de la machine. Les limites des domaines sont choisies de telle sorte que, à proximité d'une vitesse critique, le facteur d'amplifi-

cation soit constant. Les courbes des figures 1 à 3 ont été établies à partir de l'équation (2). Les limites des domaines dépendent du type de machine à l'intérieur de la classification par susceptibilité (le facteur d'amortissement des machines de type III est inférieur, dans le même domaine de sensibilité, à celui des machines de type I).

En règle générale, on peut s'attendre, pour les domaines de sensibilité ci-dessous, aux conditions de fonctionnement données au tableau 1.

Des exemples d'utilisation des figures 1 à 3 sont donnés en annexe B.

**5.2 Caractéristiques de sensibilité modale**

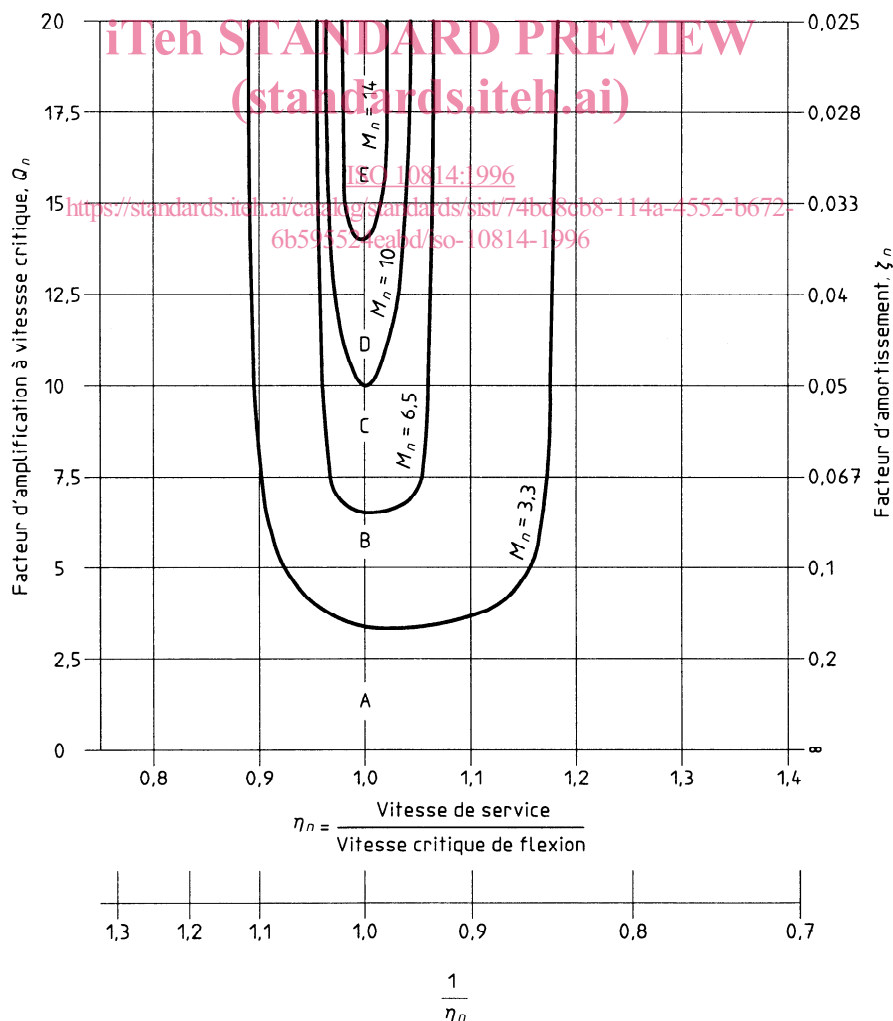
**5.2.1** Bien que le domaine A semble en théorie le plus souhaitable, des considérations relatives au coût et à la faisabilité rendent souvent nécessaire un fonctionnement à plus forte sensibilité modale.

**5.2.2** Pour les machines à hautes performances (par exemple celles ayant des intervalles de courte durée entre les cycles de maintenance prévus), il est envisageable d'autoriser des valeurs de sensibilité modale plus élevées.

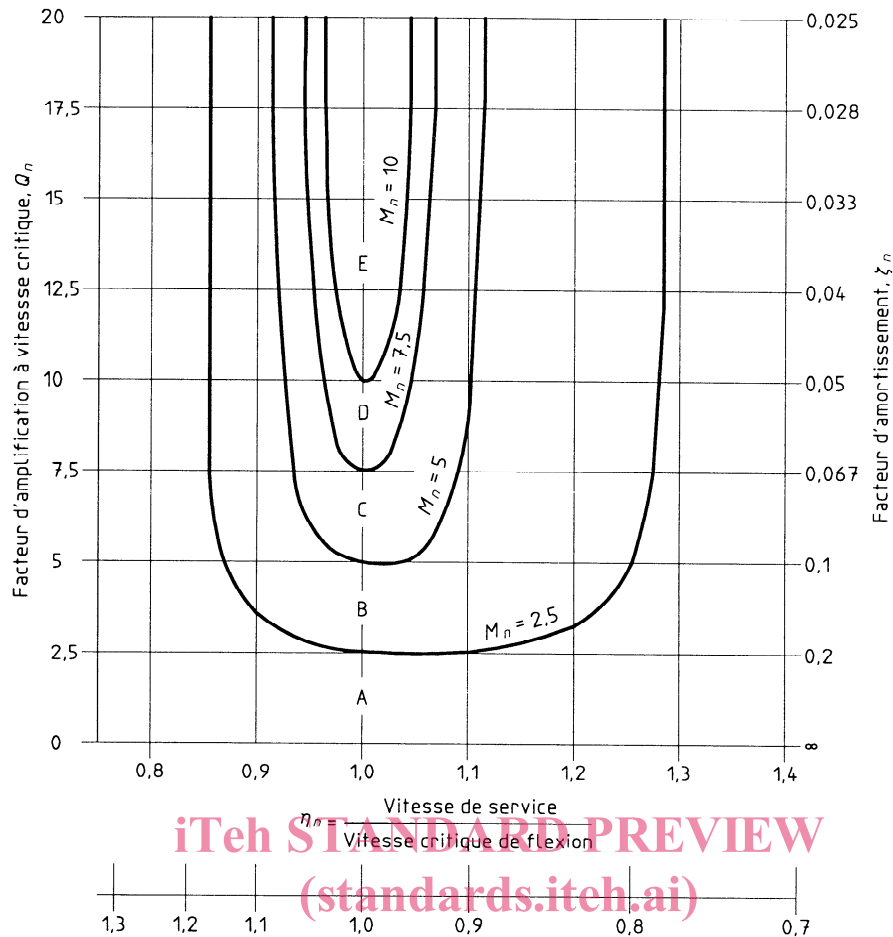
**Tableau 1**

Domaine de sensibilité modale	Conditions de fonctionnement prévisibles
A: Très faible sensibilité	Vitesse critique très douce difficile à déterminer
B: Faible sensibilité	Vibrations faibles et stables
C: Sensibilité modérée	Vibrations acceptables modérées et légèrement instables
D: Sensibilité élevée	Sensible aux balourds, un équilibrage in situ à intervalles réguliers peut être nécessaire
E: Sensibilité très élevée	Trop sensible aux balourds, à éviter

**5.2.3** En ce qui concerne les machines pour lesquelles l'équilibrage in situ n'est pas pratique ou économique, il peut s'avérer nécessaire de choisir des valeurs de sensibilité modale inférieures.



**Figure 1 — Domaines de sensibilité modale, A à E, pour les machines de type I**



iTeh STANDARD PREVIEW  
 (standards.iteh.ai)  
 ISO 10814:1996  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/74bd8cb8-114a-4552-b672-6b595524eabd/iso-10814-1996>

**Figure 2 — Domaines de sensibilité modale, de A à E, pour les machines de type II**

**5.2.4** La prise en considération de la sensibilité ne suffit pas toujours à garantir que, pour toutes les pièces de la machine, les limites vibratoires ne soient pas dépassées (voir articles 7 et 8).

### 5.3 Rotors en accélération

Des valeurs plus élevées de la sensibilité modale sont admissibles dans le cas de machines qui, en service, accélèrent toujours rapidement sur toutes les vitesses critiques car une réponse entretenue n'a pas le temps de se développer. Les machines que l'on démarre et arrête peu fréquemment, sont également acceptables avec des valeurs plus élevées de sensibilité modale.

La figure 4 illustre, pour un système à degré de liberté unique, la réduction de la sensibilité modale en fonction de l'accélération de rotation. Toutefois, en prati-

que, pour la plupart des taux d'accélération, cet effet est faible et peut être négligé.

Cette réduction de la sensibilité modale peut être calculée avant de se reporter aux figures 1 à 3 (ces figures ne sont valables que pour les rotors à accélération lente), en prenant en compte les points suivants:

- on admet que le passage par une vitesse critique s'effectue avec une accélération de rotation constante;
- la sensibilité modale doit être déterminée, dans la mesure du possible, dans des conditions entretenues aussi proches que possible de la vitesse critique;
- les amplitudes maximales lors d'une décélération ou accélération rapide se produiront à des vitesses de rotation différentes des vitesses critiques, à cause du temps de réponse.



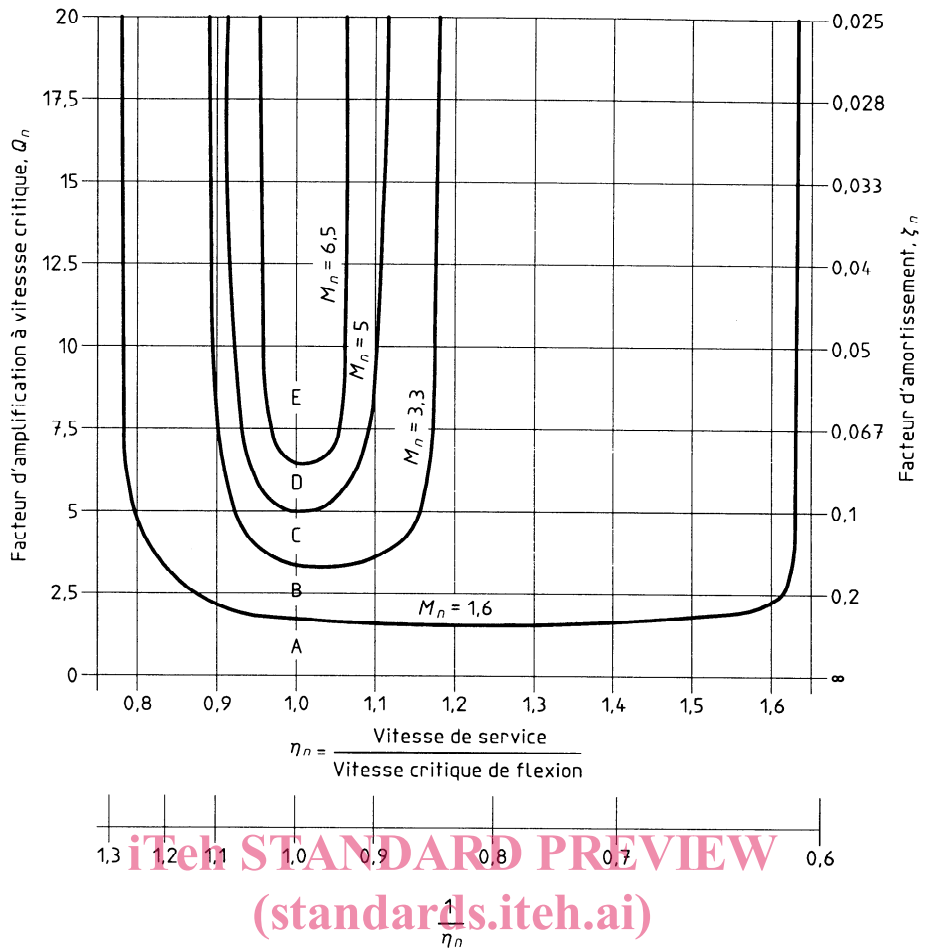


Figure 3 — Domaines de sensibilité modale, de A à E, pour les machines de type III

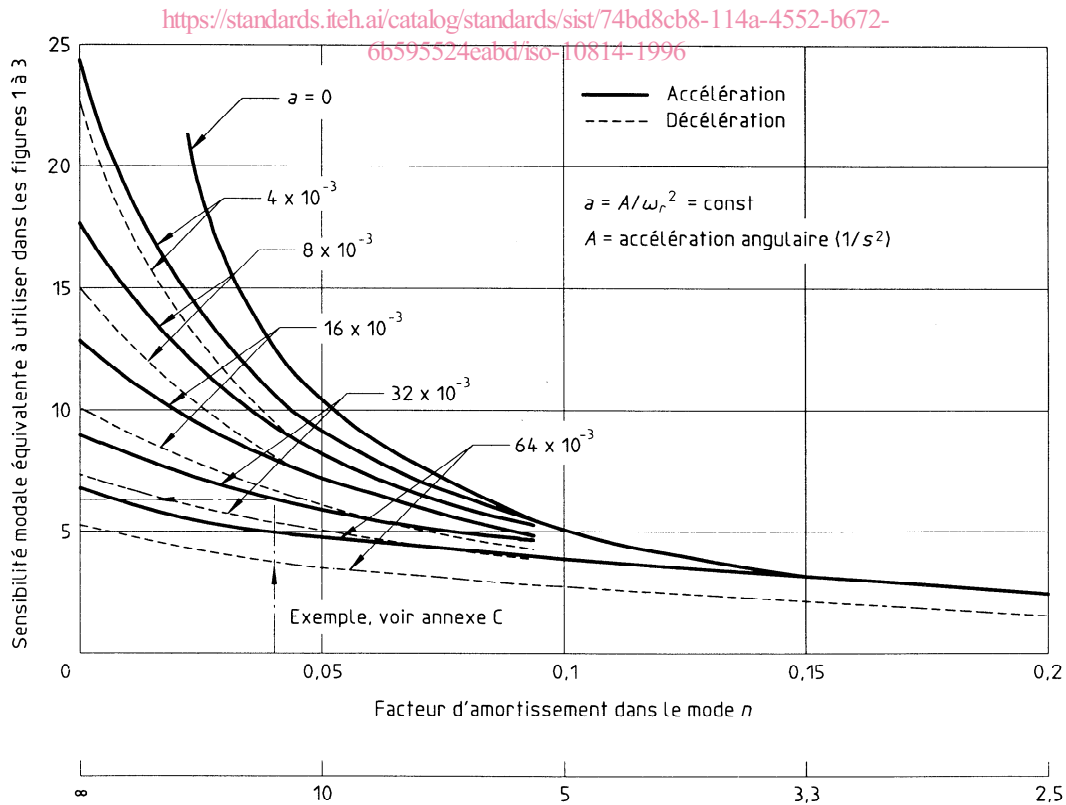


Figure 4 — Réduction de la sensibilité modale en fonction du facteur d'amortissement et de l'accélération de rotation