

# Norme internationale



# 1925

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

## Équilibrage — Vocabulaire

*Balancing — Vocabulary*

Deuxième édition — 1981-07-15

CDU 62-755 : 001.4

Réf. n° : ISO 1925-1981 (F)

Descripteurs : équilibrage, rotor, moment d'inertie, vocabulaire.

Prix basé sur 10 pages

## 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 correspondant. 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.

La Norme internationale ISO 1925 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*.

Cette deuxième édition fut soumise directement au Conseil de l'ISO, conformément au paragraphe 5.10.1 de la partie 1 des Directives pour les travaux techniques de l'ISO. Elle annule et remplace la première édition (ISO 1925-1974), qui avait été approuvée par les comités membres des pays suivants :

Afrique du Sud, Rép. d'	Grèce *	Royaume-Uni
Allemagne, R. F.	Israël *	Suède
Belgique	Italie *	Suisse *
Bulgarie •	Japon	Tchécoslovaquie
Canada *	Mexique •	Thaïlande
Chili *	Nouvelle-Zélande	Turquie
Corée, Rép. de •	Pays-Bas	URSS
Danemark *	Pologne •	USA
Égypte, Rép. arabe d'	Portugal *	
Espagne	Roumanie *	

Les comités membres des pays suivants ont désapprouvé l'une ou l'autre partie du document pour des raisons techniques :

Australie  
France

• Comité membre ayant approuvé une partie du document.

# Équilibrage — Vocabulaire

## Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale établit le vocabulaire de l'équilibrage, en anglais et en français. Elle comprend un index alphabétique pour chacune de ces deux langues.

La présente Norme internationale sera complétée ultérieurement par des listes de termes équivalents, respectivement en allemand, en japonais et en espagnol, sans définition.

Un vocabulaire général de vibrations et chocs est donné dans l'ISO 2041.

NOTE — Les termes écrits en caractères italiques dans les définitions et les notes sont définis dans un autre article de la présente Norme internationale.

## Références

ISO 1940, *Qualité d'équilibrage des corps rigides en rotation.*

ISO 2041, *Vibrations et chocs — Vocabulaire.*

ISO 2953, *Machines à équilibrer — Description, caractéristiques et possibilités.*

## 1 Mécanique

**1.1 centre de gravité :** Point d'un corps par lequel passe la résultante des forces de pesanteur associées aux masses élémentaires le constituant, pour toutes les orientations de ce corps, placé dans un champ de gravité uniforme.

Pour *centre de masse*, voir 7.3.

**1.2 axe principal d'inertie :** Pour chaque ensemble de coordonnées cartésiennes relatives à un point donné, les valeurs des six moments d'inertie d'un corps  $I_{x_i x_j}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) sont en général inégales; pour un certain système de coordon-

nées, les moments  $I_{x_i x_j}$  ( $i \neq j$ ) sont nuls. Les valeurs de  $I_{x_i x_j}$  ( $i = j$ ) pour ce système de coordonnées particulières s'appellent les **moments principaux d'inertie** et les directions des axes correspondants s'appellent les **axes principaux d'inertie**.

## NOTES

$$1 \quad I_{x_i x_j} = \int_m x_i x_j \, dm, \text{ si } i \neq j$$

$$I_{x_i x_j} = \int_m (r^2 - x_i^2) \, dm, \text{ si } i = j$$

$$\text{où } r^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2$$

et  $x_i, x_j$  sont des coordonnées cartésiennes.

2 Si le point est le *centre de gravité* du corps, les axes et les moments s'appellent **axes centraux principaux d'inertie** et **moments centraux principaux d'inertie**.

3 En **équilibre**, l'*axe principal d'inertie* est l'*axe central principal d'inertie* (parmi les trois axes centraux principaux) le plus près de l'*axe de l'arbre* du rotor; on le considère quelquefois comme *axe d'équilibrage* ou *axe de la masse*.

4 Les propriétés de masse d'un corps rigide sont définies par les dix grandeurs scalaires suivantes :

- a) **masse**;
- b) **position du centre de gravité** (trois coordonnées);
- c) **moments d'inertie** (trois axes);
- d) **produits d'inertie** (trois paires d'axes).

**1.3 centre d'équilibre :** Point d'intersection de l'*axe de l'arbre* et d'un plan qui lui est perpendiculaire (voir 2.7) passant par le *centre de gravité* du rotor, quand celui-ci est au repos.

**1.4 vitesse critique :** Vitesse caractéristique qui provoque la résonance d'un système.

NOTE — Suivant les importances relatives de la rigidité et de la masse du *palier*, de la rigidité et de la masse du *rotor*, l'effet significatif à une vitesse critique peut être le mouvement des *tourillons* ou la flexion du rotor (voir *vitesse critique de flexion* 6.1, et *vitesse critique du mode-rotor-rigide*, 6.2).

**1.5 axe de rotation** : Ligne autour de laquelle tourne le corps.

NOTES

- 1 Si les *paliers* sont anisotropes, il n'y a pas d'axe de rotation fixe.
- 2 Dans le cas de paliers rigides, l'axe de rotation est l'*axe de l'arbre*, mais si les paliers ne sont pas rigides, l'axe de rotation n'est pas nécessairement l'axe de l'arbre.

**2 Rotors**

**2.1 rotor** : Corps susceptible d'être animé par un mouvement de rotation, et possédant en général des *tourillons* supportés par des *paliers*.

NOTES

- 1 Le mot rotor s'applique parfois, par exemple, à une masse en forme de disque qui n'a pas de tourillon (par exemple : un volant). Dans le sens de la définition 2.1, une telle masse en forme de disque devient un rotor pour l'*équibrage* uniquement lorsqu'il est placé sur un arbre ayant des tourillons (voir 2.4).
- 2 En terme d'équibrage, on appelle quelquefois le rotor à équilibrer, «pièce de travail».

**2.2 rotor rigide** : Un *rotor* est considéré comme rigide quand il peut être corrigé dans deux plans quelconques (choisis arbitrairement) (voir 4.6) et qu'après cette correction, son balourd ne dépasse pas d'une façon significative les tolérances d'équibrage (relatives à l'*axe de l'arbre*) pour toutes vitesses jusqu'à la *vitesse de service* maximale en tournant dans des conditions proches de celles définies par le système d'appui définitif.

**2.3 rotor flexible** : Un *rotor* est flexible quand il ne satisfait pas à la définition 2.2, en raison de sa déformation de flexion.

**2.4 tourillon** : Partie d'un *rotor* qui est en contact avec un *palier*, dans lequel il tourne, ou qui est supportée par ce palier.

**2.5 axe du tourillon** : Ligne droite joignant les centres géométriques des sections droites des contours du *tourillon*.

**2.6 centre du tourillon** : Intersection de l'*axe du tourillon* et du plan médian perpendiculaire à l'axe du tourillon.

**2.7 axe de l'arbre** : Droite joignant les *centres des tourillons*, lorsque la flexion due à une force constante, telle que la gravité, est négligeable.

**2.8 palier** : Partie qui supporte un *tourillon* et dans laquelle tourne le tourillon.

**2.9 axe du palier** : Ligne droite joignant les centres géométriques des sections droites des contours du *palier*.

**2.10 rotor parfaitement équilibré** : Un *rotor* est parfaitement équilibré quand la répartition de sa masse est telle qu'il ne transmette ni force ni mouvement vibratoire à ses *paliers*, résultant des forces centrifuges.

NOTE — Un rotor ne reste pas nécessairement parfaitement équilibré quand il tourne à une vitesse différente ou quand il est placé dans des paliers différents.

**2.11 rotor entre paliers** : *Rotor* à deux *tourillons* qui a son *centre de gravité* entre les deux tourillons.

**2.12 rotor en porte à faux** : *Rotor* à deux *tourillons* dont le *centre de gravité* n'est pas situé entre les tourillons.

**2.13 excentricité de masse** : Voir 3.17.

**2.14 excentricité locale de masse** (pour des *rotors* à masse répartie) : Pour de petits éléments axiaux découpés dans un rotor, perpendiculairement à l'*axe de l'arbre*, la distance du *centre de gravité* de chaque élément par rapport à l'axe de l'arbre s'appelle l'excentricité locale de masse.

**2.15 support du palier** : Partie ou ensemble des parties qui transmettent la charge du *palier* au corps principal de la structure.

**2.16 assise** : Structure sur laquelle repose le système mécanique.

NOTE — En matière d'*équibrage* et de vibrations de machines tournantes, l'assise est habituellement la structure de base lourde sur laquelle la machine est montée.

**2.17 rotor quasi rigide** : *Rotor flexible* que l'on peut équilibrer de façon satisfaisante à une vitesse inférieure à celle à laquelle se produit une flexion significative du *rotor*.

**2.18 vitesse d'équibrage** : Vitesse de rotation à laquelle un *rotor* est équilibré.

**2.19 vitesse de service** : Vitesse de rotation à laquelle un *rotor* fonctionne, lorsqu'il est installé dans son environnement définitif.

**3 Déséquilibre — Balourd<sup>1)</sup>**

**3.0 Généralités**

Les définitions de ce chapitre concernent le balourd dans les *rotors rigides*. Elles peuvent s'appliquer également aux *rotors flexibles*; cependant, comme le balourd dans ces *rotors* varie avec la vitesse, toute *valeur du balourd* doit être associée à une vitesse déterminée.

1) Au terme anglais «unbalance» correspondent deux termes en français «déséquilibre» et «balourd».

**3.1 déséquilibre** : État dans lequel se trouve un *rotor* quand, par suite de forces centrifuges, une force ou un mouvement vibratoire est communiqué à ses *paliers* (voir Généralités).

## NOTES

1 Le terme **balourd** est parfois employé comme synonyme de *valeur du balourd* ou *vecteur balourd*.

2 Le **balourd** est en général réparti à travers tout le *rotor*, mais peut se réduire à

a) un **balourd statique** et à un **balourd couple** décrits par trois vecteurs balourds dans trois plans particuliers, ou à

b) un **balourd dynamique** représenté par deux vecteurs balourds dans deux plans spécifiés.

**3.2 vecteur balourd** : Vecteur dont le module représente la valeur du balourd et dont la direction détermine l'angle du balourd.

**3.3 valeur du balourd** : Mesure quantitative du balourd d'un *rotor* (par rapport à un plan), sans référence à sa position angulaire. Elle est obtenue en faisant le produit de la *masse du balourd* par la distance de son *centre de gravité* à l'*axe de l'arbre*.

## NOTES

1 Les unités de valeur du balourd sont, par exemple, onces inches, grammes millimètres, etc.

2 Dans certains pays, les termes «poids» et «masse» sont utilisés indifféremment.

**3.4 angle du balourd** : Dans un système de coordonnées polaires dans un plan perpendiculaire à l'*axe de l'arbre* et tournant avec le *rotor*, angle polaire de la *masse du balourd* dans ce système de coordonnées.

**3.5 masse du balourd** : Masse, supposée localisée à une distance déterminée, telle que le produit de la *masse du balourd* par son accélération centripète soit égal à la *force du balourd*.

NOTE — L'accélération centripète est le produit de la distance entre l'*axe de l'arbre* et la masse du balourd par le carré de la vitesse angulaire exprimée en radians par seconde.

**3.6 déséquilibre statique** : État tel que l'axe central principal est uniquement déplacé parallèlement à l'*axe de l'arbre*.

NOTE — La mesure quantitative du balourd statique peut être donnée par la résultante de deux vecteurs balourds dynamiques.

**3.7 déséquilibre quasi statique** : État tel que l'axe central principal coupe l'*axe de l'arbre* en un point autre que le *centre de gravité*.

**3.8 déséquilibre de couple** : État tel que l'axe central principal coupe l'*axe de l'arbre* au *centre de gravité*.

## NOTES

1 La mesure quantitative d'un balourd couple peut être donnée par le vecteur somme des moments des deux vecteurs balourds dynamiques par rapport à un certain point de référence situé dans le plan contenant le centre de gravité et l'axe de l'arbre.

2 Si le balourd statique d'un *rotor* est corrigé dans tout plan autre que celui contenant le point de référence, le balourd couple sera modifié.

**3.9 déséquilibre dynamique** : État tel que l'axe central principal n'est ni parallèle ni ne coupe l'*axe de l'arbre*.

NOTE — La mesure quantitative du balourd dynamique peut être donnée par deux *vecteurs balourds* complémentaires dans deux plans spécifiés (perpendiculaires à l'axe de l'arbre), vecteurs représentant complètement le balourd total du *rotor*.

**3.10 balourd résiduel (final)** : Balourd de tout type qui subsiste après l'*équilibrage*.

**3.11 balourd initial** : Balourd de tout type existant dans le *rotor* avant l'*équilibrage*.

**3.12 force de balourd** : Dans un *rotor*, par rapport à un *plan de correction*, force centrifuge à une vitesse donnée (par rapport à l'*axe de l'arbre*) due au balourd dans ce plan.

**3.13 force de balourd résultante** : Force résultante du système des forces centrifuges de toutes les masses élémentaires d'un *rotor* par rapport à tout point de l'*axe de l'arbre*, pourvu que le *rotor* tourne autour de l'axe de l'arbre.

NOTE — La force de balourd résultante se trouve toujours dans le plan contenant le *centre de gravité* et l'axe de l'arbre.

**3.14 moment de balourd** : Moment d'une force centrifuge d'un élément de masse d'un *rotor* par rapport à un certain point de référence situé dans le plan contenant le *centre de gravité* et l'*axe de l'arbre*.

**3.15 moment de balourd résultant (moment résultant des forces de balourd)** : Moment résultant du système des forces centrifuges de toutes les masses élémentaires d'un *rotor* par rapport à un certain point de référence situé dans le plan contenant le *centre de gravité* et l'*axe de l'arbre*.

## NOTES

1 L'angle du plan et la grandeur du moment résultant dépendent en général de la position du point de référence.

2 Il existe une certaine position du point de référence pour laquelle la grandeur du moment résultant est minimale (**axe central de balourd**).

3 Le moment résultant est indépendant de la position du point de référence lorsque la *force de balourd résultante* est nulle.

**3.16 couple de balourds** : Dans le cas où la *force de balourd résultante* est nulle, couple résultant du système des forces centrifuges de toutes les masses élémentaires du *rotor*.

**3.17 balourd spécifique (excentricité de masse) :** Balourd statique ( $U$ ) divisé par la masse du rotor ( $M$ ); il est égal à la distance entre le *centre de gravité* du rotor et l'*axe de l'arbre*.

**3.18 qualité d'équilibrage :** Pour des *rotors rigides*, produit du *balourd spécifique* par la vitesse angulaire maximale du rotor en service<sup>1)</sup>.

**3.19 balourd initial contrôlé :** *Balourd initial* réduit au minimum par l'*équilibrage* individuel de chaque élément et/ou par le fait d'un choix judicieux de la conception, de la fabrication et de l'assemblage du rotor.

## 4 Équilibrage

**4.1 équilibrage :** Méthode par laquelle la répartition de la masse d'un rotor est vérifiée et, si nécessaire, corrigée de façon à garantir que la vibration des *tourillons* et/ou que les forces sur les *paliers* soient dans des limites spécifiées pour une fréquence correspondant à la *vitesse de service*.

**4.2 équilibrage dans un seul plan (statique) :** Méthode par laquelle la répartition de la masse d'un rotor rigide est réglée pour assurer que le balourd statique résiduel soit dans les limites spécifiées.

NOTE — L'équilibrage dans un plan peut se faire sur une paire de couteaux, sans rotation du rotor mais, actuellement, il est plus courant de l'effectuer sur des machines à équilibrer centrifuges.

**4.3 équilibrage dans deux plans (dynamique) :** Méthode par laquelle la répartition des masses d'un rotor rigide est corrigée pour que le balourd dynamique résiduel soit dans les limites spécifiées par rapport à ces plans.

**4.4 équilibrage multiplans :** Toute méthode, appliquée à l'équilibrage des rotors flexibles, qui nécessite une correction du balourd dans plus de deux plans de correction.

**4.5 méthode de correction :** Méthode par laquelle la répartition de la masse d'un rotor est réglée pour réduire le balourd, ou les vibrations dues au balourd, à une valeur acceptable. Les corrections sont habituellement effectuées par adjonction ou suppression de matière au rotor.

**4.6 plan de correction (plan d'équilibrage) :** Plan perpendiculaire à l'axe de l'arbre d'un rotor dans lequel s'effectue la correction du balourd.

**4.7 plan de mesure :** Plan perpendiculaire à l'axe de l'arbre dans lequel on détermine le vecteur balourd.

**4.8 plan de référence :** Tout plan perpendiculaire à l'axe de l'arbre, auquel on rapporte la valeur du balourd.

**4.9 limite d'acceptabilité :** Valeur maximale d'un paramètre lié au balourd au-dessous de laquelle l'état de déséquilibre d'un rotor est considéré comme acceptable.

**4.10 tolérance de balourd :** Dans le cas de rotors rigides, par rapport à un plan radial (plan de mesure ou plan de correction), valeur maximale du balourd en dessous de laquelle on considère le balourd comme acceptable.

**4.11 équilibrage in situ :** Équilibrage d'un rotor monté sur ses propres paliers et ses supports et non sur une machine à équilibrer.

NOTE — Dans de telles conditions, l'information nécessaire pour réaliser l'équilibrage provient du mesurage des mouvements ou forces vibratoires des supports et/ou du mesurage des autres réponses au balourd du rotor.

## 5 Machines et équipements d'équilibrage<sup>2)</sup>

**5.1 machine à équilibrer :** Machine qui fournit des renseignements en vue de la vérification et de la correction de la répartition de la masse d'un rotor monté sur elle, de sorte que le mouvement vibratoire sur les *tourillons*, ou les forces sur les *paliers*, se manifestant une fois par révolution, puissent si nécessaire être réduits.

**5.2 machine à équilibrer par gravité (non rotative) :** Machine à équilibrer qui sert de support à un rotor rigide au repos et fournit des renseignements sur la quantité et l'angle du balourd statique.

**5.3 machine à équilibrer centrifuge (rotative) :** Machine à équilibrer qui sert de support à un rotor et à sa rotation. Elle mesure des forces ou des mouvements vibratoires dus au balourd du rotor se manifestant une fois par révolution.

**5.4 machine à équilibrer à un seul plan (statique) :** Machine à équilibrer par gravité ou centrifuge qui fournit des renseignements pour exécuter un équilibrage dans un seul plan.

**5.5 machine à équilibrer dynamique (à deux plans) :** Machine à équilibrer centrifuge qui fournit des renseignements pour exécuter un équilibrage dans deux plans.

NOTE — On utilise quelquefois une machine à équilibrer dynamique pour exécuter un équilibrage dans un seul plan.

**5.6 machine à équilibrer à paliers rigides (en dessous de la fréquence de résonance) :** Machine dont la gamme de vitesse d'équilibrage est inférieure à la fréquence propre du système suspension et rotor.

**5.7 machine à équilibrer à résonance :** Machine dont la vitesse d'équilibrage correspond à la fréquence propre du système suspension et rotor.

1) Voir ISO 1940.

2) Voir ISO 2953.

**5.8 machine à équilibrer à paliers souples (au-dessus de la fréquence de résonance) :** Machine dont la *vitesse d'équilibrage* est supérieure à la fréquence propre du système suspension et rotor.

**5.9 machine à équilibrer à compensation (à force nulle) :** *Machine à équilibrer* à l'intérieur de laquelle se trouve un système de force calibrée qui compense les *forces de balourd* du rotor.

**5.10 machine à équilibrer à lecture directe :** Machine qui indique directement le balourd.

**5.11 diamètre utile :** Diamètre maximal d'une pièce qui peut être installée sur une *machine à équilibrer*.

**5.12 faux arbre (arbre d'équilibrage) :** Arbre usiné sur lequel la pièce est montée pour l'*équilibrage*.

**5.13 matériel d'équilibrage *in situ* :** Ensemble d'instruments de mesurage qui fournit des renseignements en vue d'effectuer les opérations d'*équilibrage* sur des mécanismes assemblés, non montés sur une *machine à équilibrer*.

**5.14 indicateur de balourd :** Sur une *machine à équilibrer*, cadran, indicateur ou compteur qui indique la *valeur du balourd* ou l'effet de ce balourd.

**5.15 unité pratique de correction :** Unité correspondant à une valeur unitaire du module du balourd indiquée sur la *machine à équilibrer*. Pour plus de commodité, elle est associée à un rayon et à un plan de correction particuliers et est exprimée couramment en unités d'une grandeur choisie arbitrairement, telle que profondeurs de perçage de diamètre donné, poids, longueurs de bâtons de soudure, bouchons, cales, etc.

**5.16 contrepoids :** Poids ajouté à un corps à un endroit choisi en vue de réduire le balourd calculé.

NOTE — De tels poids peuvent être utilisés pour mettre un corps asymétrique en équilibre ou pour réduire les couples de flexion dans un corps, par exemple : vilebrequins.

**5.17 compensateur :** Dispositif incorporé à une *machine à équilibrer* qui permet d'annuler, habituellement par un moyen électrique, le *balourd initial* du rotor, réduisant ainsi le temps nécessaire à la détermination du plan et à l'étalonnage.

**5.18 indicateur d'angle :** Appareil utilisé pour indiquer l'*angle du balourd*.

**5.19 générateur de référence d'angle :** En *équilibrage*, appareil qui élabore un signal représentatif de la position angulaire du rotor.

**5.20 marques de référence d'angle :** Marques situées sur le rotor pour définir un système de référence d'angles lié au rotor; elles peuvent être optiques, magnétiques, mécaniques ou radioactives.

**5.21 appareil de mesure de vecteur :** Appareil pour mesurer et visualiser, habituellement à l'aide d'un point ou d'une droite, le module et l'angle d'un *vecteur balourd*.

**5.22 appareil de mesure des composantes :** Appareil pour mesurer et visualiser, le module et l'*angle du balourd* en fonction de composantes sélectionnées du *vecteur balourd*.

**5.23 réponse minimale d'une machine à équilibrer :** Mesure de l'aptitude d'une machine à détecter et indiquer le module minimal du balourd dans des conditions données.

**5.24 précision d'une machine à équilibrer :** Limites entre lesquelles le module et l'*angle du balourd* peuvent être mesurés dans des conditions données.

**5.25 interaction entre les plans de correction :** Variation d'indication d'une *machine à équilibrer* dans un *plan de correction* d'un rotor donné, résultant d'un certain changement de balourd dans l'autre plan de correction.

**5.26 taux d'interaction entre les plans de correction :** Les taux d'interaction ( $I_{AB}$ ,  $I_{BA}$ ) entre deux *plans de correction* A et B d'un rotor donné sont définis par les relations suivantes :

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{U_{BB}}$$

où  $U_{AB}$  et  $U_{BB}$  sont les balourds se rapportant aux plans A et B respectivement, dus à l'augmentation du module du balourd dans le plan B; et

$$I_{BA} = \frac{U_{BA}}{U_{AA}}$$

où  $U_{BA}$  et  $U_{AA}$  sont les balourds se rapportant aux plans B et A respectivement, dus à l'augmentation du module du balourd dans le plan A.

#### NOTES

1 Le *taux d'interaction entre les plans de correction* doit être minimal dans une *machine à équilibrer* dont la *séparation de plan* a été soigneusement effectuée.

2 Le rapport est généralement donné en pourcentage.

**5.27 séparation du plan :** Dans une *machine à équilibrer*, opération qui consiste à réduire le *taux d'interaction entre les plans de correction* pour un rotor particulier.

**5.28 sensibilité d'une machine à équilibrer :** Dans des conditions données, variation du balourd lu sur un indicateur à aiguille ou numérique due à une variation unitaire du module du balourd.

**5.29 barre nodale :** Barre rigide couplée par les *paliers* à un rotor rigide supporté élastiquement et dont le mouvement est essentiellement parallèle à celui de l'*axe de l'arbre*.

NOTES

1 Elle permet la séparation des *plans de correction*; les capteurs de mouvement sont placés au centres de rotation correspondant aux centres de percussion situés dans les plans de correction.

2 Un capteur de mouvement ainsi positionné possède un *taux minimal d'interaction entre les plans de correction*.

**5.30 réseau de plans de séparation (nodal)** : Circuit électrique interposé entre les capteurs de mouvement et les *indicateurs de balourd*; il assure électriquement la fonction de *séparation de plan* sans que les capteurs aient des emplacements particuliers.

**5.31 masse parasite** : Dans une *machine à équilibrer*, toute masse autre que celle du *rotor* en cours d'*équilibrage*, dont le mouvement est dû à la(les) *force(s) du balourd* développée(s) dans le rotor.

**5.32 rotor de vérification (d'essai)** : *Rotor rigide* de masse convenable utilisé pour vérifier les *machines à équilibrer*; ce rotor étant suffisamment équilibré pour permettre l'introduction d'un balourd connu au moyen des masses additionnelles, dont le module et la position angulaire sont reproductibles.

**5.33 étalonnage permanent** : Propriété d'une *machine à équilibrer à paliers rigides* qui lui permet d'être étalonnée une fois pour toutes; l'étalonnage reste valable pour tout *rotor* convenable à l'égard de la capacité et de la vitesse de la machine.

NOTE — La machine doit être adaptée à des rotors de différentes dimensions (voir 5.37).

**5.34 rapport de réduction du balourd (RRB)** : Rapport de la réduction du balourd obtenue par une correction unique au *balourd initial*.

$$RRB = \frac{U_1 - U_2}{U_1} = 1 - \frac{U_2}{U_1}$$

où

$U_1$  est la valeur du balourd initial;

$U_2$  est la *valeur du balourd* restant après une correction d'*équilibrage*.

NOTES

1 Le *rapport de réduction du balourd* est une mesure de l'efficacité globale de la correction du balourd.

2 Le rapport est généralement donné en pourcentage.

**5.35 rotor d'étalonnage** : *Rotor* (généralement le premier d'une série) utilisé pour l'étalonnage d'une *machine à équilibrer*.

**5.36 étalonnage** : Processus de réglage d'une machine par lequel la ou les indications de balourd sont lues en termes d'unités de correction choisies dans des *plans de correction* spécifiés, pour un *rotor* donné et d'autres rotors essentiellement

identiques; si nécessaire, il peut inclure le réglage de la position angulaire.

**5.37 réglage** : Pour une *machine à équilibrer à paliers rigides*, opération qui consiste à introduire dans la machine des indications concernant, s'il y a lieu, la position des *plans de correction*, la position des *paliers*, les rayons de correction et la vitesse.

**5.38 mise au point mécanique** : Opération qui consiste, pour une *machine à équilibrer*, à préparer mécaniquement la machine pour équilibrer un *rotor*.

**5.39 dispositif à auto-équilibrage** : Dispositif qui compense automatiquement les changements affectant le balourd pendant le fonctionnement.

**5.40 qualité d'équilibrage réalisable** : Plus petite valeur de balourd résiduel que permet d'obtenir une *machine à équilibrer*.

**5.41 qualité d'équilibrage réalisable déclarée** : *Qualité d'équilibrage réalisable* que le fabricant déclare pour sa machine, et mesurée conformément au mode opératoire spécifié dans l'ISO 2953.

**5.42 cycle de mesure** (d'une *machine à équilibrer*) : Cycle comportant les phases suivantes :

- a) préparation mécanique de la machine, y compris l'entraînement du *rotor* et la mise en place des éléments d'adaptation;
- b) réglage du système indicateur;
- c) préparation du rotor en vue de son *équilibrage*;
- d) mise en vitesse du rotor;
- e) obtention de la mesure du balourd;
- f) ralentissement du rotor;
- g) toute autre opération nécessaire pour connaître la valeur réelle du balourd à partir des lectures effectuées;
- h) toute autre opération nécessaire telle que, par exemple, celle qui concerne la sécurité.

NOTES

1 Pour l'*équilibrage* dans une production en série, les phases a) et b) ne sont habituellement pas considérées dans le calcul du temps du premier cycle de mesure. Pour les cycles suivants, les phases a), b) et c) sont toujours omises.

2 Le cycle de mesure est quelquefois appelé cycle de contrôle.

**5.43 cycle d'équilibrage** (sur une *machine à équilibrer*) : Cycle constitué d'un *cycle de mesure* et de l'opération correspondante de correction de balourd.

**5.44 durée totale d'équilibrage :** Durée comprenant le temps nécessaire pour tous les *cycles d'équilibrage* et de contrôle, y compris les temps de chargement et de déchargement de la machine.

NOTE — La durée est exprimée habituellement en minutes.

**5.45 capacité de production :** Inverse de la *durée totale d'équilibrage*.

NOTE — La capacité est habituellement exprimée en nombre de pièces par heure.

**5.46 essai de vérification :** Essai permettant de déterminer les *balourds résiduels* d'un rotor (voir ISO 1940, chapitre 6.3) ou de vérifier que les balourds résiduels décelables par une *machine à équilibrer* sont inférieurs à une valeur spécifiée.

**5.47 liberté de l'axe vertical :** Liberté qu'a un *palier* ou l'enveloppe d'une *machine à équilibrer* horizontale, de pouvoir pivoter de quelques degrés autour de l'axe vertical passant par le centre du palier.

## 6 Rotors flexibles

**6.1 vitesse critique de flexion (d'un rotor) :** Vitesse pour laquelle la flexion d'un rotor est maximale et telle que la flèche correspondante est plus importante que le déplacement des *tourillons*.

**6.2 vitesse critique du mode-rotor-rigide :** Vitesse pour laquelle le déplacement des *tourillons* est maximal et telle que ce déplacement est plus important que la déformation de flexion du rotor.

**6.3 mode principal de flexion (d'un rotor) :** Pour les ensembles *rotor/paliers* non amortis, mode caractérisé par la déformation élastique que prend le rotor à l'une de ses *vitesse critiques de flexion*.

**6.4 équilibrage modal :** Opération d'*équilibrage* des rotors flexibles au cours de laquelle sont effectuées des corrections en vue de réduire les amplitudes de vibrations des différents *modes principaux de flexion* afin de la réduire à des valeurs inférieures aux limites spécifiées.

**6.5 balourd modal d'ordre  $n$  :** Balourd qui n'affecte que le  $n^{\text{ième}}$  mode principal de flexion de l'ensemble rotor/paliers.

NOTE — Le balourd modal d'ordre  $n$  n'est pas un balourd unique : il est caractérisé par une répartition  $u_n(z)$  des balourds au  $n^{\text{ième}}$  mode principal. Il peut se définir sous forme mathématique par son effet sur le  $n^{\text{ième}}$  mode principal par un vecteur balourd  $\vec{U}_n$  :

$$\vec{U}_n = \int_0^1 u_n(z) \phi_n(z) dz$$

où  $\phi_n(z)$  est la fonction modale.

**6.6 balourd modal équivalent d'ordre  $n$  :** Balourd unique minimal  $\vec{U}_{ne}$ , équivalent au balourd modal d'ordre  $n$  de par ses effets sur le  $n^{\text{ième}}$  mode principal de la configuration de la déformation.

### NOTES

1  $\vec{U}_n$  et  $\vec{U}_{ne}$  sont liés par la relation  $\vec{U}_n = \vec{U}_{ne} \phi_n(z_e)$ , où  $\phi_n(z_e)$  est la valeur de la fonction modale pour  $z = z_e$ , coordonnée axiale du plan transversal dans lequel  $\vec{U}_{ne}$  est appliqué.

2 L'ensemble des masses d'équilibrage réparties dans un nombre approprié de *plans de correction* et calculées de manière à agir sur les modes peut être désigné par les termes « ensemble des balourds modaux équivalents d'ordre  $n$  ».

3 Les balourds modaux équivalents d'ordre  $n$  n'affectent d'autres modes que le  $n^{\text{ième}}$ .

**6.7 tolérance de balourd modal :** Pour un mode déterminé, grandeur maximale du balourd modal équivalent spécifiée, en dessous de laquelle un balourd affectant ce mode est considéré comme acceptable.

**6.8 vibration à un multiple de la fréquence de rotation :** Vibration apparaissant à une fréquence égale à un multiple entier de la fréquence de rotation.

NOTE — Cette vibration peut être causée par l'anisotropie du rotor, la non-linéarité des caractéristiques de l'ensemble rotor/paliers, ou d'autres phénomènes.

**6.9 balourd causé par un phénomène thermique :** Variation significative du balourd résultant des variations de température d'un rotor.

NOTE — La variation peut être permanente ou temporaire.

**6.10 équilibrage à basse vitesse** (concerne les rotors flexibles) : Méthode d'*équilibrage* à une vitesse pour laquelle le rotor à équilibrer peut être considéré comme rigide.

**6.11 équilibrage à haute vitesse** (concerne les rotors flexibles) : Méthode d'*équilibrage* à des vitesses pour lesquelles le rotor à équilibrer ne peut être considéré comme rigide.

## 7 Corps-libres rigides en rotation

### 7.0 Généralités

Les définitions de ce chapitre sont applicables aux corps-libres rigides en rotation. Toutefois, lorsque l'on place un de ces corps sur une *machine à équilibrer*, il peut être considéré comme un rotor et dans ce cas on peut utiliser les définitions des chapitres 1 à 5.

**7.1 corps-libres rigides :** Système d'éléments présentant des liaisons internes rigides et qui n'est pas soumis à des contraintes externes.

**7.2 corps-libre rigide en rotation :** Corps-libre rigide tournant autour d'un axe.

NOTE — L'axe de rotation n'est pas immobile, s'il n'est pas un axe principal central.

**7.3 centre de masse :** Point d'un système tel que le moment par rapport à un plan quelconque d'une particule imaginaire, située en ce point, de masse égale à la masse du système, soit égal au moment du premier ordre de l'ensemble des points massiques du système.

Pour *centre de gravité*, voir 1.1.

NOTE — La position du centre de masse  $\vec{r}_c$  d'un système matériel, composé de masses ponctuelles  $m_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) situées aux points  $\vec{r}_i$ , est définie par

$$\vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^N m_i}$$

**7.4 emplacement de l'axe principal :** Situation de l'axe principal passant par le *centre de masse*, définie par son angle par rapport à l'*axe de centrage*.

**7.5 axe de centrage :** Axe par rapport auquel les pièces et les assemblages sont dessinés et autour duquel on désire que le corps soit en équilibre.

NOTE — Dans la pratique, l'axe autour duquel le corps est en équilibre peut s'écarter de l'*axe de centrage* et il est appelé l'*axe de pivotement*.

**7.6 balourd d'un corps-libre rigide :** Balourd que présente tout corps-libre rigide, lorsqu'il tourne sur une *machine à équilibrer*.

#### NOTES

1 Le mouvement de rotation de l'axe principal peut être cylindrique ou conique ou bien une combinaison des deux.

2 Les définitions du *déséquilibre statique d'un corps-libre rigide*, du *déséquilibre de couple d'un corps-libre rigide* et du *déséquilibre dynamique d'un corps-libre rigide* sont identiques à celles données en 3.6, 3.8 et 3.9, l'*axe de pivotement* doit être substitué à l'*axe de l'arbre*.

**7.7 équilibrage d'un corps-libre rigide :** Procédure permettant de vérifier la répartition de la masse d'un corps-libre rigide et, si besoin est, de la corriger, afin d'obtenir que l'*emplacement de l'axe principal* soit dans un domaine spécifié.