
Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les arbres tournants —

Partie 2:

Turbines à vapeur et alternateurs installés sur fondation radier, excédant 50 MW avec des vitesses normales de fonctionnement de 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min et 3 600 r/min

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0de19a80-60d9-4f5c-9337-933982875d84/iso-7919-2-2001>

Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts —

Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min



PDF — Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 7919-2:2001

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0de19a80-60d9-4f5c-9337-933982875d84/iso-7919-2-2001>

© ISO 2001

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'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.ch
Web www.iso.ch

Imprimé en Suisse

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 Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 3.

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 appelée sur le fait que certains des éléments de la présente partie de l'ISO 7919 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.

La Norme internationale ISO 7919-2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*, sous-comité SC 2 – *Mesure et évaluation des vibrations et chocs mécaniques intéressant les machines, les véhicules et les structures*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 7919-2:1996), dont elle constitue une révision technique. Les critères relatifs aux conditions de fonctionnement en régime transitoire, telles que la montée en vitesse et le ralentissement, font partie intégrante des modifications rédactionnelles.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0de19a80-60d9-4f5c-9337->

L'ISO 7919 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les arbres tournants*:

- *Partie 1: Directives générales*
- *Partie 2: Turbines à vapeur et alternateurs installés sur fondation radier, excédant 50 MW avec des vitesses normales de fonctionnement de 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min et 3 600 r/min*
- *Partie 3: Machines industrielles couplées*
- *Partie 4: Turbines à gaz*
- *Partie 5: Machines équipant les centrales hydroélectriques et les stations de pompage*

L'annexe A constitue un élément normatif de la présente partie de l'ISO 7919. L'annexe B est donnée uniquement à titre d'information.

Introduction

L'ISO 7919-1 est le document de référence qui décrit les exigences générales pour le mesurage et l'évaluation des vibrations de divers types de machines lorsque les mesurages des vibrations sont effectués sur des arbres tournants. La présente partie de l'ISO 7919 est applicable aux turbines à vapeur et aux alternateurs.

Les critères d'évaluation présentés, fondés sur l'expérience passée, peuvent être utilisés comme directives d'évaluation du régime vibratoire des machines de ce type. Il faut admettre que ces critères ne constituent pas l'unique référence d'évaluation de la sévérité vibratoire. Pour les turbines à vapeur et les alternateurs, il est également courant d'évaluer les vibrations en fonction des mesurages effectués sur des parties non tournantes. Les exigences et critères d'évaluation applicables aux mesurages effectués sur des parties non tournantes font l'objet de normes distinctes, à savoir l'ISO 10816-1 et l'ISO 10816-2.

Les procédures d'évaluation figurant dans la présente partie de l'ISO 7919 sont fondées sur des mesurages à large bande. Il est toutefois important de noter que, du fait des progrès technologiques, l'utilisation des mesurages à bande étroite ou de l'analyse spectrale est de plus en plus courante, particulièrement pour l'évaluation des vibrations, pour la surveillance et aux fins de diagnostics. Les spécifications de critères relatifs à ces mesurages ne relèvent pas du domaine d'application de la présente partie de l'ISO 7919. Elles sont traitées dans l'ISO 13373-1 relative à la surveillance vibratoire des machines; d'autres parties de l'ISO 13373 sont en cours d'élaboration.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 7919-2:2001

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0de19a80-60d9-4f5c-9337-933982875d84/iso-7919-2-2001>

Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les arbres tournants —

Partie 2:

Turbines à vapeur et alternateurs installés sur fondation radier, excédant 50 MW avec des vitesses normales de fonctionnement de 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min et 3 600 r/min

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 7919 donne des lignes directrices concernant l'application des critères d'évaluation des vibrations des arbres mesurés dans le sens radial au droit ou à proximité des paliers des turbines à vapeur et des alternateurs. Ces lignes directrices sont présentées en termes de:

- vibrations dans des conditions normales de fonctionnement en régime permanent;
- vibrations au cours d'un fonctionnement en régime transitoire y compris le passage des vitesses de rotation critiques pendant la montée en vitesse ou le ralentissement;
- changements de vibrations susceptibles de se produire pendant un fonctionnement normal en régime permanent.

Les valeurs numériques spécifiées ne sont pas destinées à être utilisées comme base unique pour l'évaluation des vibrations étant donné qu'en général, comme décrit dans l'introduction de l'ISO 7919-1, le régime vibratoire d'une machine est évalué en prenant en compte les vibrations à la fois de l'arbre et des structures qui lui sont associées (voir l'ISO 10816-2).

La présente partie de l'ISO 7919 est applicable aux turbines à vapeur et aux alternateurs installés sur fondation radier dont la vitesse normale de fonctionnement est égale à 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min ou 3 600 r/min et dont les puissances utiles sont supérieures à 50 MW. Elle inclut également les turbines à vapeur et/ou les alternateurs qui sont couplés directement à une turbine à gaz (telle que pour des cycles d'applications combinés). Dans ce cas, les critères de la présente partie de l'ISO 7919 s'appliquent uniquement à la turbine à vapeur et à l'alternateur. Il convient que l'évaluation des vibrations de la turbine à gaz soit faite conformément à l'ISO 7919-4 et à l'ISO 10816-4.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 7919. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de l'ISO 7919 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

ISO 7919-1, *Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les arbres tournants — Partie 1: Directives générales*

ISO 10816-2, *Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les parties non tournantes — Partie 2: Turbines à vapeur et alternateurs installés sur fondation radier, excédant 50 MW avec des vitesses normales de fonctionnement de 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min et 3 600 r/min*

3 Procédures de mesurage

Les procédures de mesurage et les instruments utilisés doivent être comme décrit dans l'ISO 7919-1.

Les premières expériences acquises sur les turbines à vapeur et les alternateurs se limitaient au mesurage des vibrations absolues des arbres à l'aide de capteurs en contact avec l'arbre. Plus récemment, les mesurages des vibrations relatives des arbres en utilisant des capteurs sans contact sont devenus plus courants. Les vibrations absolues des arbres peuvent toutefois être obtenues, si nécessaire, par la sommation des signaux issus d'un capteur sans contact et d'un capteur sismique disposés ensemble sur un support qui mesure les vibrations de la structure. Chacune de ces méthodes est actuellement utilisée et c'est la raison pour laquelle les mesurages des vibrations absolues et relatives des arbres sont considérés au même titre dans la présente partie de l'ISO 7919.

Pour la surveillance, le système de mesurage doit pouvoir mesurer les vibrations globales jusqu'à une fréquence équivalente à au moins trois fois la vitesse normale de fonctionnement. Toutefois, il convient de noter que pour le diagnostic, il peut être souhaitable de couvrir un domaine de fréquences plus large.

Avant la mise en exploitation des turbines à vapeur et des alternateurs, des mesurages du déplacement de l'arbre à basse vitesse peuvent être effectués pour évaluer l'importance du faux-rond lorsque les films d'huile deviennent stables et que les effets centrifuges sont négligeables (par exemple sur une machine dont la vitesse nominale est de 3 000 r/min, le faux-rond peut être évalué à une vitesse de l'ordre de 200 r/min). Les résultats obtenus sont comparés aux vecteurs de vibrations escomptés et peuvent servir de base pour juger de l'état satisfaisant ou non de la ligne d'arbre, par exemple pour déterminer s'il existe une flèche ou un déport latéral ou un défaut d'alignement entre les accouplements («effet manivelle»). De tels mesurages ne peuvent généralement pas être considérés comme fournissant une indication valide du faux-rond des arbres dans des conditions normales de fonctionnement puisque ces conditions peuvent être affectées, par exemple, par des flèches transitoires, des mouvements irréguliers du tourillon dans le coussinet, des mouvements axiaux, etc. Il est particulièrement recommandé de ne pas soustraire les signaux mesurés à basse vitesse des signaux mesurés à la vitesse nominale, sans tenir compte des facteurs ci-dessus, dans la mesure où les résultats peuvent fournir une mauvaise interprétation concernant les vibrations de la machine (voir ISO 7919-1).

Si des mesurages à basse vitesse sont effectués, il est important de s'assurer que les caractéristiques de basse fréquence du système de mesure sont appropriées.

4 Critères d'évaluation

4.1 Généralités

Les critères concernant l'amplitude des vibrations, les variations des amplitudes des vibrations et les limites de fonctionnement sont présentés ci-dessous.

L'amplitude des vibrations est la plus grande des amplitudes de déplacements crête à crête mesurées dans deux directions perpendiculaires fixées. Les valeurs présentées résultent de l'expérience avec des machines de ce type et lorsque celles-ci sont convenablement entretenues, elles permettent un fonctionnement acceptable. Si l'on n'utilise qu'une seule direction de mesurage, il convient de veiller à ce que soient fournies des indications adéquates (voir ISO 7919-1).

Deux critères permettent d'évaluer les vibrations des arbres des turbines à vapeur et des alternateurs, mesurées au droit ou à proximité des paliers. Le premier considère l'amplitude des vibrations des arbres observées en bande large; le second considère les modifications d'amplitude, qu'il s'agisse d'augmentations ou de réductions.

Les critères sont applicables pour les conditions de fonctionnement en régime permanent à la vitesse et à la charge nominales spécifiées, y compris les variations lentes normales de la charge électrique de l'alternateur. Des valeurs alternatives d'amplitude des vibrations sont également fournies pour un fonctionnement en régime transitoire.

Il convient de noter qu'une évaluation globale de l'état vibratoire d'une machine repose souvent sur les vibrations des arbres, comme défini ci-dessus, et sur les mesurages effectués sur des parties non tournantes (voir ISO 10816-1 et ISO 10816-2).

4.2 Critère I: Amplitude des vibrations

4.2.1 Généralités

Ce critère porte sur la définition des limites de l'amplitude des vibrations des arbres cohérentes avec des forces dynamiques acceptables des paliers, des déplacements radiaux (jeux) convenables de la machine et une transmission acceptable des vibrations au support et aux fondations.

4.2.2 Amplitude des vibrations à la vitesse nominale dans des conditions de fonctionnement normales en régime permanent

4.2.2.1 Généralités

L'amplitude maximale des vibrations des arbres, observée au droit de chaque palier, est évaluée par rapport à quatre zones d'évaluation établies par expérience au niveau international.

4.2.2.2 Zones d'évaluation

Les zones d'évaluation ci-dessous sont définies pour permettre une évaluation qualitative des vibrations de l'arbre sur une machine donnée et pour fournir des directives en vue d'actions éventuelles.

Zone A: Les vibrations des machines nouvellement mises en service appartiendraient normalement à cette zone.

Zone B: Les machines dont les vibrations appartiennent à cette zone sont normalement jugées acceptables pour un fonctionnement à long terme sans restriction.

<https://standards.itech.ai/catalog/standards/sist/0de19a80-60d9-4f5c-9337-3a90721c0000/iso-7919-2-2001>

Zone C: Les machines dont les vibrations appartiennent à cette zone sont normalement jugées inaptes à un fonctionnement continu à long terme. D'une manière générale, la machine peut être exploitée pendant une période limitée dans ces conditions dans l'attente d'une occasion permettant d'effectuer des opérations de maintenance.

Zone D: Les valeurs de vibrations appartenant à cette zone sont normalement jugées susceptibles de provoquer des détériorations de la machine.

NOTE Les zones d'évaluation définies ci-dessus correspondent à un fonctionnement normal en régime permanent à la vitesse nominale. Le paragraphe 4.2.4 donne des lignes directrices pour un régime transitoire.

4.2.2.3 Limites des zones d'évaluation

Les valeurs recommandées pour les limites de zone sont données dans l'annexe A pour les vibrations relatives et absolues de l'arbre. Ces valeurs, qui reposent sur l'expérience actuelle acquise en matière de mesurage des vibrations des arbres dans ce domaine, ne sont pas destinées à servir de spécifications de réception qui doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant de la machine et le client. Toutefois, elles fournissent des lignes directrices pour éviter des insuffisances graves ou des exigences irréalistes.

Dans la plupart des cas, les valeurs données dans les Tableaux A.1 et A.2 permettent de garantir un fonctionnement satisfaisant. Toutefois, dans certains cas, des caractéristiques particulières ou l'expérience acquise associée(s) à un type de machine spécifique peuvent nécessiter l'utilisation de différentes limites de zones (inférieures ou supérieures). Ci-après quelques situations à titre d'exemple.

- a) Lorsque l'on utilise des paliers à faible jeu, ou pour des paliers à précontraintes intégrées (par exemple entre alternateur et excitatrice) qui réduisent le jeu minimal des paliers, les valeurs données dans le Tableau A.1 peuvent être supérieures au jeu disponible de paliers. Les valeurs des limites de zone doivent alors être réduites.

NOTE Ceci s'applique uniquement si les vibrations relatives des arbres sont mesurées sur le support de palier à proximité de ce dernier. Le degré de réduction des valeurs des limites de zone varie en fonction du type de palier utilisé et de la relation entre la direction de mesurage et le jeu minimal. Il n'est par conséquent pas possible de donner des recommandations précises mais l'annexe B donne un exemple représentatif d'un palier cylindrique lisse.

- b) Pour des paliers faiblement chargés (par exemple les coussinets des excitatrices) ou pour d'autres paliers plus souples, d'autres critères fondés sur la conception détaillée de la machine peuvent être nécessaires.
- c) Lorsque les vibrations sont mesurées à distance du palier.
- d) Pour certaines conceptions de machines où le rotor et les paliers reposent sur une structure socle/radier souple, les amplitudes des vibrations absolues des arbres peuvent être supérieures aux amplitudes propres aux turbines à vapeur et aux alternateurs qui ont des structures d'appui de paliers plus rigides. Il peut alors être acceptable, sur la base d'un diagramme de fonctionnement satisfaisant et éprouvé, d'augmenter les valeurs des limites de zone données dans l'annexe A.

En règle générale, lorsque l'on utilise des valeurs de limites de zone supérieures, il peut se révéler nécessaire de faire appel à une justification technique permettant de confirmer que la fiabilité de la machine ne peut être compromise du fait d'un fonctionnement avec des amplitudes de vibrations plus élevées. Ceci peut reposer, par exemple, sur une expérience de fonctionnement satisfaisante avec des machines de conception et de support structuraux similaires. Des valeurs supérieures peuvent également être tolérées avec les régimes transitoires, tels que la montée en vitesse et le ralentissement (voir 4.2.4).

4.2.3 Limites de fonctionnement en régime permanent

4.2.3.1 Généralités

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Pour un service de longue durée en régime permanent, il est d'usage d'établir des limites de vibration en service. Ces limites prennent la forme d'ALARMES et de DÉCLENCHEMENTS.

ISO 7919-2:2001

ALARMES: Pour avertir qu'une valeur définie de vibration a été atteinte ou qu'un changement significatif est intervenu pour lequel une mesure corrective peut être nécessaire. En général, si une situation d'ALARME se produit, la machine continue à fonctionner pendant les investigations pour identifier la raison de la variation des vibrations et définir le remède à apporter.

DÉCLENCHEMENTS: Pour spécifier l'amplitude des vibrations au-delà de laquelle la poursuite du fonctionnement de la machine peut provoquer un dommage. Si la valeur de DÉCLENCHEMENT est dépassée, il convient d'intervenir immédiatement pour réduire les vibrations ou d'arrêter la machine.

Différentes limites de fonctionnement, reflétant les différences de chargement dynamique et de rigidité des supports, peuvent être spécifiées pour différents points et directions de mesurage.

4.2.3.2 Positionnement des ALARMES

Les valeurs d'ALARME peuvent varier d'une machine à l'autre. Les valeurs choisies seront normalement établies sur la machine concernée pour le point ou la direction de mesurage, par rapport à une valeur de référence fixée selon l'expérience.

Il est recommandé que la valeur d'ALARME soit fixée au-dessus du niveau de référence d'une valeur égale à 25 % de la limite de zone B/C. Si la référence est basse, l'ALARME peut être au-dessous de la zone C.

Lorsqu'il n'y a pas de référence établie (par exemple pour une machine neuve), il convient que le positionnement initial de l'ALARME repose sur l'expérience acquise avec d'autres machines similaires ou par rapport aux valeurs de réception convenues. Au bout d'un certain temps, il convient d'établir le niveau de référence en régime permanent et d'adapter le positionnement de l'ALARME en conséquence.

Il est normalement recommandé que la valeur d'ALARME ne dépasse pas 1,25 fois la limite de zone B/C.

Si la référence en régime permanent change (par exemple après réparation de la machine), il convient de revoir le positionnement de l'ALARME en conséquence. Différents positionnements de l'ALARME en service peuvent alors exister pour différents paliers de la machine, reflétant les différences de chargement dynamique et de rigidité des supports de paliers.

4.2.3.3 Positionnement des DÉCLENCHEMENTS

Les valeurs des DÉCLENCHEMENTS sont en général liées à l'intégrité mécanique de la machine et dépendent de caractéristiques spécifiques de conception, introduites pour permettre à la machine de résister à des efforts dynamiques anormaux. Les valeurs utilisées sont donc, en général, les mêmes pour toutes les machines de conception similaire et ne seraient normalement pas liées à la valeur de référence en régime permanent utilisée pour le positionnement des ALARMES.

Il peut toutefois y avoir des différences pour des machines de conception différente et il n'est pas possible de donner des lignes directrices plus précises pour des valeurs de DÉCLENCHEMENT absolues. En général, la valeur de DÉCLENCHEMENT se situe dans la zone C ou D, mais il est recommandé que la valeur de DÉCLENCHEMENT ne dépasse pas 1,25 fois la limite de zone C/D.

4.2.4 Amplitude des vibrations en régime transitoire

4.2.4.1 Généralités

La spécification des valeurs de vibrations données dans l'annexe A concerne le fonctionnement à long terme de la turbine à vapeur et/ou de l'alternateur en régime permanent spécifié. Des valeurs supérieures de vibrations peuvent être tolérées en régime transitoire. Ceci inclut à la fois un régime transitoire à la vitesse nominale et pendant une montée en vitesse ou un ralentissement, particulièrement pour le passage des zones de vitesses critiques. Les valeurs supérieures admises pour un régime transitoire peuvent dépasser les valeurs d'ALARME spécifiées en 4.2.3.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0de19a80-60d9-4f5c-9337->

Comme dans le cas des vibrations en régime permanent, toutes les valeurs de réception pour des cas spécifiques doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant de la machine et le client. Il convient toutefois que les indications générales données ci-dessous permettent d'éviter de graves anomalies ou l'application d'exigences excessives.

4.2.4.2 Amplitude des vibrations en régime transitoire à la vitesse nominale

Ceci inclut un fonctionnement en l'absence de charge suite à une synchronisation, à une charge rapide ou avec des variations de facteur de puissance ainsi que toutes les autres conditions de fonctionnement d'une durée relativement courte. Pour des régimes transitoires de ce type, l'amplitude des vibrations doit normalement être considérée acceptable à condition qu'elle ne dépasse pas la limite de zone C/D.

4.2.4.3 Amplitude des vibrations dans des conditions de montée en vitesse, de ralentissement et de survitesse

La spécification des limites de vibrations dans des conditions de montée en vitesse, de ralentissement et de survitesse peut varier en fonction des caractéristiques de construction particulières d'une machine ou des exigences spécifiques de fonctionnement. Par exemple, des valeurs de vibrations supérieures peuvent être acceptables pour une unité fonctionnant en base (charge constante) concernée seulement par un petit nombre de démarrages, tandis que des limites plus restrictives peuvent s'appliquer pour une unité qui fonctionne en deux régimes réguliers et qui peut être soumise à des contraintes temporelles spécifiques pour atteindre les niveaux de puissance garantis. De plus, l'amplitude des vibrations pour le passage des zones de vitesses critiques dans des conditions de montée en vitesse et de ralentissement est fortement influencée par l'amortissement et le taux de variation de la vitesse. Par exemple, le taux de variation de la vitesse est généralement plus faible pendant le ralentissement que lors de la montée en vitesse, et des valeurs de vibrations plus élevées peuvent être choisies lors du passage des zones de vitesses critiques pendant le ralentissement (voir également l'ISO 10814 pour de plus amples informations sur la sensibilité des machines au balourd).