
**Surveillance et diagnostic d'état
des machines — Surveillance des
vibrations —**

Partie 2:
**Traitement, analyse et présentation
des données vibratoires**

*Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration
condition monitoring —*

Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data

get full document from standards.iteh.ai



Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2016, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
Introduction.....	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Conditionnement des signaux	1
3.1 Généralités.....	1
3.2 Systèmes analogiques et numériques.....	4
3.2.1 Généralités.....	4
3.2.2 Techniques de numérisation.....	4
3.3 Systèmes de conditionnement des signaux.....	5
3.3.1 Généralités.....	5
3.3.2 Intégration et dérivation.....	5
3.3.3 Valeur quadratique moyenne (efficace) du signal de vibration.....	6
3.3.4 Gamme dynamique.....	6
3.3.5 Étalonnage.....	7
3.4 Filtrage.....	7
4 Traitement et analyse des données	8
4.1 Généralités.....	8
4.2 Analyse dans le domaine temporel.....	8
4.2.1 Signal temporel.....	8
4.2.2 Battement.....	10
4.2.3 Modulation.....	11
4.2.4 Analyse de l'enveloppe.....	11
4.2.5 Surveillance de l'enveloppe du spectre de fréquences à bande étroite.....	12
4.2.6 Orbite d'arbre.....	12
4.2.7 Signal continu de position de l'arbre.....	13
4.2.8 Vibration durant les transitoires.....	13
4.2.9 Impulsion.....	14
4.2.10 Amortissement.....	15
4.2.11 Moyennage dans le domaine temporel.....	17
4.3 Analyse dans le domaine fréquentiel.....	18
4.3.1 Généralités.....	18
4.3.2 Transformée de Fourier.....	19
4.3.3 Troncature et fenêtrage.....	20
4.3.4 Pouvoir de résolution en fréquence.....	20
4.3.5 Longueur d'enregistrement.....	21
4.3.6 Modulation en amplitude (bandes latérales).....	21
4.3.7 Repliement.....	23
4.3.8 Échantillonnage synchrone.....	24
4.3.9 Moyennage du spectre.....	25
4.3.10 Tracés logarithmiques (avec valeurs de référence en décibels).....	25
4.3.11 Analyse en mode zoom.....	26
4.3.12 Dérivation et intégration.....	27
4.4 Affichage des résultats au cours des changements opérationnels.....	28
4.4.1 Amplitude et phase (diagramme de Bode).....	28
4.4.2 Diagramme polaire (diagramme de Nyquist).....	29
4.4.3 Diagramme en cascade.....	30
4.4.4 Diagramme de Campbell.....	32
4.5 Analyse en temps réel et bande passante en temps réel.....	33
4.6 Suivi d'ordres (analogiques et numériques).....	34
4.7 Analyse par bande d'octave et par fraction d'octave.....	34
4.8 Analyse par la méthode du cepstre.....	35

5	Autres techniques	36
	Bibliographie	37

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [Avant-propos — Informations supplémentaires](#).

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques, et leur surveillance*, 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 13373-2:2005), qui a fait l'objet d'une révision d'ordre rédactionnel.

L'ISO 13373 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Surveillance et diagnostic d'état des machines — Surveillance des vibrations*:

- *Partie 1: Procédures générales*
- *Partie 2: Traitement, analyse et présentation des données vibratoires*
- *Partie 3: Lignes directrices pour le diagnostic des vibrations*
- *Partie 9: Techniques de diagnostic pour moteurs électriques*

Introduction

Le but de la présente partie de l'ISO 13373, qui traite de la surveillance des vibrations des machines, est de fournir des recommandations relatives aux méthodes et procédures de traitement des signaux et d'analyse des données délivrées par les capteurs de vibrations associés à une machine et implantés à des emplacements choisis pour les besoins de surveillance du comportement dynamique d'une machine.

Les mesurages des vibrations à large bande donnent une idée générale sur l'intensité des vibrations d'une machine qui peut être relevée et affichée afin d'alerter les utilisateurs d'une machine en cas d'apparition d'une condition anormale au niveau de la machine. Le traitement et l'analyse de ces signaux de vibration réalisés conformément aux procédures spécifiées dans la présente partie de l'ISO 13373 donnent à l'utilisateur un aperçu sur les moyens permettant de diagnostiquer la ou les causes possibles des problèmes affectant les machines, ce qui permet une surveillance plus ciblée et continue de celles-ci.

Un tel programme de surveillance ne présente pas seulement l'avantage d'attirer l'attention des opérateurs des machines sur le fait qu'une machine peut connaître une défaillance à un certain moment et qu'il est nécessaire de planifier l'entretien et la maintenance avant l'apparition de la défaillance, mais il fournit également de précieuses informations sur la nature de la maintenance qu'il est nécessaire de planifier et d'exécuter. Les vibrations sont des manifestations ou des signes avant-coureurs de problèmes tels que le défaut d'alignement, le balourd, l'usure accélérée, le fluage et les problèmes de lubrification.

L'ISO 13373-1 fournit des lignes directrices en matière de surveillance des vibrations des machines. La présente partie de l'ISO 13373 contient cependant des lignes directrices relatives au traitement, à l'analyse et à la présentation des données vibratoires ainsi recueillies et qui peuvent être utilisées aux fins de diagnostic pour déterminer la nature ou les causes profondes des problèmes.

Les procédures de traitement, d'analyse et de diagnostic des signaux, appliquées à la surveillance des vibrations, peuvent varier en fonction des processus à surveiller, du degré de précision souhaité, des ressources disponibles, etc. Un programme de surveillance parfaitement conçu et bien exécuté implique la prise en considération de plusieurs facteurs, tels que les processus prioritaires, la criticité (gravité) et la complexité d'un système, la rentabilité, la probabilité d'occurrence des divers mécanismes de défaillances et l'identification des premiers signes indicateurs de la défaillance.

Une analyse adéquate du processus est nécessaire pour imposer le choix des types de données souhaités afin de permettre une surveillance convenable des machines.

Il est nécessaire que la personne chargée de l'analyse des vibrations regroupe autant d'informations pertinentes que possible sur la machine à surveiller. Par exemple, la connaissance des fréquences de résonance et des fréquences d'excitation des vibrations à partir des renseignements descriptifs et des données analytiques donne un aperçu sur les fréquences vibratoires prévues, et par conséquent, sur la gamme de fréquences à surveiller. En outre, la connaissance de l'état initial de la machine, de l'historique de la machine en service et de ses conditions d'utilisation offre à l'analyste des informations complémentaires.

Ce processus de planification avant essai présente d'autres avantages; il fournit des lignes directrices sur les types de capteurs nécessaires, les emplacements requis les plus adéquats pour leur implantation, la nature de l'équipement requis pour le conditionnement (prétraitement) des signaux, le type d'analyse le plus approprié et les critères pertinents.

D'autres normes traitant de la surveillance et du diagnostic d'état des machines sont en cours d'élaboration. Elles sont destinées à fournir des lignes directrices sur la surveillance globale de la «santé» des machines, y compris des facteurs tels que les vibrations, le degré de pureté des huiles, la thermographie et les performances. Des techniques de base pour le diagnostic seront décrites dans l'ISO 13373-3.

Surveillance et diagnostic d'état des machines — Surveillance des vibrations —

Partie 2:

Traitement, analyse et présentation des données vibratoires

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 13373 spécifie des procédures recommandées pour le traitement et la présentation des données vibratoires et l'analyse des signatures vibratoires aux fins de surveillance des vibrations des machines tournantes et la réalisation de diagnostics, le cas échéant. Elle décrit différentes techniques en fonction des diverses applications. Elle présente par ailleurs des techniques d'amélioration des signaux et des méthodes d'analyse destinées à l'étude des phénomènes dynamiques de machines spécifiques. Plusieurs de ces techniques peuvent être appliquées à d'autres types de machines, y compris les machines alternatives. Elle donne en outre des exemples de formats pour des paramètres communément représentés aux fins d'évaluation et de diagnostic.

La présente partie de l'ISO 13373 est essentiellement fondée sur deux principes de base pour l'analyse des signaux de vibration: le domaine temporel et le domaine fréquentiel. Certaines méthodes d'affinement des résultats du diagnostic par variation des conditions de fonctionnement sont également couvertes.

La présente partie de l'ISO 13373 ne présente que les techniques les plus couramment utilisées pour la surveillance, l'analyse et le diagnostic des vibrations des machines. Plusieurs autres techniques sont mises en œuvre pour la détermination du comportement des machines et sont appliquées dans des études fondées sur une analyse et un diagnostic plus approfondis des vibrations qui dépassent le cadre du simple suivi pour la surveillance des machines. Une description détaillée de ces techniques ne relève pas du domaine d'application de la présente partie de l'ISO 13373, mais l'[Article 5](#) établit, à titre d'information complémentaire, une liste de certaines de ces techniques spécialisées et encore plus développées.

Pour des machines de types et de dimensions spécifiques, les séries de normes ISO 7919 et ISO 10816 fournissent des principes directeurs pour l'application de grandeurs vibratoires à large bande destinée à la surveillance d'état des machines; d'autres documents tels que la norme VDI 3839 apportent des informations supplémentaires sur les problèmes spécifiques aux machines qui peuvent être identifiés par un diagnostic des vibrations.

2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 1683, *Acoustique — Valeurs de référence recommandées pour les niveaux acoustiques et vibratoires*

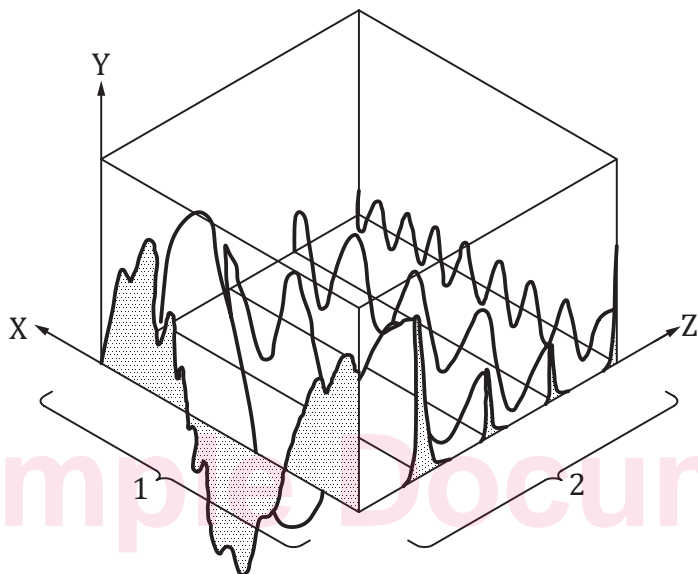
3 Conditionnement des signaux

3.1 Généralités

Tous les mesurages des vibrations sont pratiquement effectués en utilisant un capteur délivrant un signal électrique analogique proportionnel à la valeur instantanée de l'accélération, de la vitesse ou du déplacement des vibrations. Ce signal peut être enregistré sur un analyseur dynamique, étudié

pour une analyse ultérieure ou visualisé, par exemple, sur un oscilloscope. Pour obtenir les niveaux de vibrations réels, la tension de sortie est multipliée par une constante d'étalonnage qui rend compte de la sensibilité d'un capteur et des gains d'un amplificateur et d'un enregistreur. L'étude des vibrations est souvent réalisée dans le domaine fréquentiel mais il existe également des outils précieux faisant appel au diagramme d'évolution des vibrations.

La [Figure 1](#) illustre l'évolution du signal de vibration dans les domaines temporel et fréquentiel. Dans cette illustration, il est possible de relever que quatre recouvrements de signaux se combinent pour former la trace composite, telle qu'elle apparaîtrait sur l'écran de l'analyseur (trace grise dans le plan XY). Grâce à la méthode de traitement par transformées de Fourier, l'analyseur convertit ce signal composite pour délivrer les quatre composantes fréquentielles distinctes visualisées.

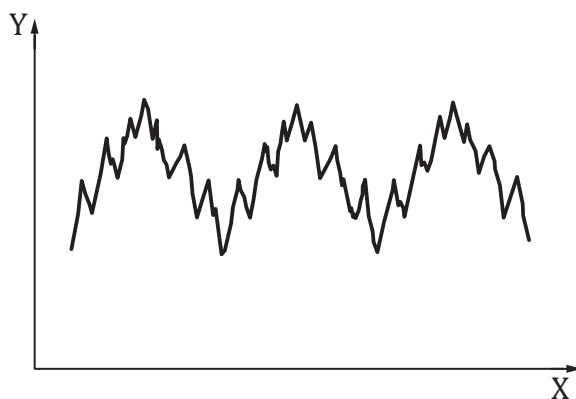


Légende

X	temps	1	oscillogramme représentant le signal temporel
Y	amplitude/grandeur	2	spectre dans le domaine fréquentiel
Z	fréquence		

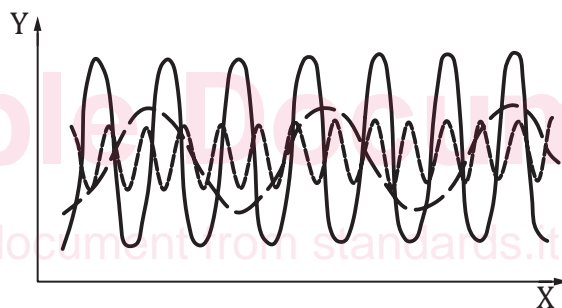
Figure 1 — Domaines temporel et fréquentiel

La [Figure 2](#) présente un exemple plus simple de trace composite délivrée par un capteur, telle qu'elle apparaît sur l'écran de l'analyseur. Dans ce cas, seuls trois recouvrements de signaux sont représentés, comme montré à la [Figure 3](#), leurs fréquences distinctes étant présentées à la [Figure 4](#).

**Légende**

X temps

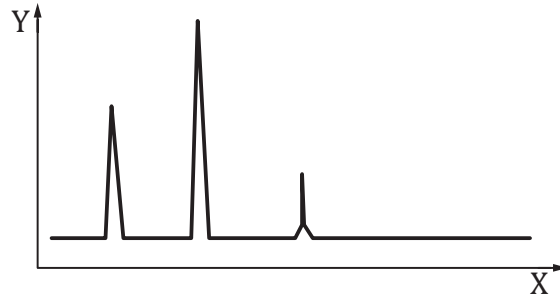
Y amplitude

Figure 2 — Signal composite de spectres de base**Légende**

X temps

Y amplitude

Figure 3 — Recouvrement des signaux



Légende

X fréquence

Y amplitude

Figure 4 — Fréquences distinctes

Pour de nombreuses études, la relation entre vibrations, sur différents points de la structure ou dans différents sens de propagation des vibrations, est aussi importante que les données relatives aux vibrations individuelles elles-mêmes. Pour cette raison, des analyseurs de signaux multicanaux sont associés à des systèmes d'analyse intégrés et à deux canaux. Lors de l'examen des signaux au moyen de cette technique, il est important d'observer l'amplitude et la phase des signaux de vibration.

3.2 Systèmes analogiques et numériques

3.2.1 Généralités

Le signal analogique délivré par un capteur peut faire l'objet d'un traitement mettant en œuvre des systèmes analogiques ou numériques. Traditionnellement, des systèmes analogiques étaient mis en œuvre et utilisaient des filtres, des amplificateurs, des enregistreurs, des intégrateurs et d'autres composants qui modifient le signal sans toutefois en changer le caractère analogique. Plus récemment, les avantages qu'offre la numérisation des signaux sont devenus de plus en plus apparents. Un convertisseur analogique/numérique échantillonne de façon répétitive le signal analogique et le convertit en une série de valeurs numériques. Des logiciels mathématiques peuvent alors être utilisés pour le filtrage, l'intégration, la détection spectrale (voir [4.3.2](#)), l'établissement d'histogrammes ou la réalisation de toute autre opération requise. Bien entendu, le signal numérisé peut également être représenté sur un graphique en fonction de son évolution dans le temps. Qu'il soit analogique ou numérique, le signal contient les mêmes informations, sous réserve du choix approprié de la fréquence d'échantillonnage.

Lors de l'utilisation d'une méthode analogique ou d'une méthode numérique, il est important de connaître la sensibilité du signal à mesurer. La sensibilité est le rapport de la valeur réelle de la tension de sortie du signal à la grandeur réelle du paramètre mesuré. Pour obtenir une définition adéquate du signal, il convient que le signal concerné soit sensiblement supérieur aux niveaux du bruit ambiant sans pour autant entraîner une distorsion du signal (par exemple par écrêtage du signal).

3.2.2 Techniques de numérisation

Dans le processus de numérisation, la fréquence d'échantillonnage et le pouvoir de résolution constituent les paramètres les plus importants. Il est important de s'assurer de l'absence de toute fréquence supérieure à la moitié de la valeur de la fréquence d'échantillonnage. Sinon, les diagrammes d'évolution présenteront des distorsions ou les transformées de Fourier rapides (TFR) feront apparaître des composantes de repliement qui n'appartiennent pas réellement au signal original (voir [4.3.7](#) pour des informations complémentaires sur le repliement). La fréquence d'échantillonnage sera déterminée par le type d'analyse à réaliser et le contenu fréquentiel attendu du signal. Lorsqu'on souhaite une

représentation graphique des vibrations en fonction du temps, il est recommandé que la fréquence d'échantillonnage corresponde approximativement à 10 fois la fréquence représentative la plus élevée dans le signal. Cependant, si on souhaite obtenir un spectre de fréquences, un calcul faisant intervenir la TFR nécessite une fréquence d'échantillonnage qui doit être supérieure à deux fois la fréquence représentative la plus élevée à mesurer. Les filtres anti-repliement servent à éliminer tout bruit parasite à haute fréquence ou toute autre composante à haute fréquence supérieure à la moitié de la valeur de la fréquence d'échantillonnage. Lors de la numérisation, le nombre de bits utilisés pour représenter chaque échantillon doit être suffisant pour garantir le degré de précision requis.

3.3 Systèmes de conditionnement des signaux

3.3.1 Généralités

Les signaux de vibration délivrés par les capteurs nécessitent généralement un certain conditionnement des signaux avant leur enregistrement afin d'obtenir les niveaux de tension appropriés à l'enregistrement ou pour éliminer le bruit ou toute autre composante indésirable. Le système de conditionnement des signaux inclut les sources d'alimentation des capteurs, les préamplificateurs, les amplificateurs, les intégrateurs et plusieurs types de filtres. Le filtrage est abordé plus en détail en [3.4](#).

3.3.2 Intégration et dérivation

Les enregistrements des vibrations peuvent être réalisés en termes de déplacement, de vitesse ou d'accélération. Généralement, la préférence est accordée à l'un de ces paramètres en fonction de la gamme de fréquences représentative (les signaux à basse fréquence sont plus apparents lorsque le paramètre de déplacement est utilisé et les signaux à haute fréquence sont plus apparents lorsque le paramètre d'accélération est retenu) ou des critères applicables. Un signal de vibration peut être converti en une grandeur différente par intégration ou dérivation. L'intégration de l'accélération par rapport au temps donne la vitesse et l'intégration de la vitesse donne le déplacement. La double intégration de l'accélération produira directement le déplacement. Comparée à l'intégration, la dérivation produit l'effet inverse.

Mathématiquement, pour le mouvement harmonique, les relations suivantes s'appliquent:

déplacement:

$$x = \int v dt = \iint (a dt) dt = -\frac{i}{\omega} v = -\frac{1}{\omega^2} a \quad (1)$$

vitesse:

$$v = \frac{dx}{dt} = \int a dt = i\omega x = -\frac{i}{\omega} a \quad (2)$$

accélération:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x = i\omega v \quad (3)$$

où ω est la pulsation de la vibration harmonique, avec $\omega = 2\pi f$.

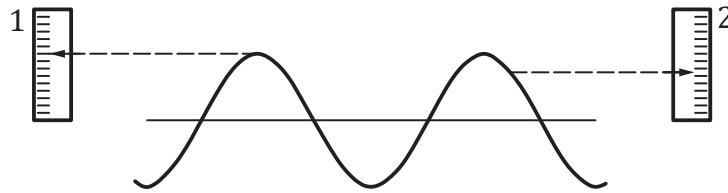
NOTE Voir aussi [4.3.12](#).

L'accéléromètre constitue un capteur de vibrations communément utilisé, et l'intégration est de ce fait bien plus courante que la dérivation. En effet, la dérivation d'un signal est plus difficile que l'intégration, même si une attention particulière doit être accordée à l'intégration des signaux à basse fréquence. Avant l'intégration, il convient d'utiliser un filtre passe-haut afin d'éliminer les fréquences inférieures aux fréquences représentatives.

3.3.3 Valeur quadratique moyenne (efficace) du signal de vibration

La valeur quadratique moyenne (RMS) du signal de vibration est couramment utilisée dans les normes d'évaluation des vibrations. Les critères d'évaluation s'appliquent souvent aux valeurs quadratiques moyennes des vibrations dans une certaine gamme de fréquences. Il s'agit de la grandeur de vibration la plus utilisée sur une période de temps donnée. D'autres mesures d'un signal de vibration peuvent prêter à confusion en présence de plusieurs composantes fréquentielles ou en cas de modulation, etc. Cependant, la valeur quadratique moyenne est une grandeur mathématique qui peut être trouvée quel que soit le signal, la majeure partie des instruments étant conçue pour dériver ladite grandeur (voir Figure 5). Par ailleurs, la valeur quadratique moyenne peut être obtenue au moyen d'un analyseur de spectre en intégrant le spectre entre les fréquences représentatives les plus hautes et les plus basses.

Un signal de vibration peut être filtré de la manière requise et visualisé sur un instrument de mesure des valeurs quadratiques moyennes des vibrations, lorsque les lectures ne varient pas de manière significative sur une courte période de temps. Toutefois, lorsque la valeur de sortie indiquée varie de manière sensible, une valeur moyenne sur une certaine période de temps doit être obtenue. Ceci peut être réalisé en utilisant un instrument disposant d'une constante de temps plus importante.



a) Signal sinusoïdal, lorsque la valeur quadratique moyenne est égale à 0,707 fois la valeur crête



b) Signal non sinusoïdal

Légende

- 1 valeur crête
- 2 valeur quadratique moyenne

Figure 5 — Valeur crête et valeur quadratique moyenne

3.3.4 Gamme dynamique

La gamme dynamique est le rapport entre les grandeurs les plus élevées et les plus faibles des signaux qu'un analyseur particulier peut transmettre simultanément. Les grandeurs des signaux sont proportionnelles aux tensions de sortie des capteurs, généralement exprimées en millivolts.

La gamme dynamique dans les systèmes analogiques est généralement limitée par le bruit électrique. Ce phénomène ne concerne généralement pas le capteur lui-même, mais les filtres, amplificateurs, enregistreurs, etc., contribuent tous au niveau du bruit, et le résultat peut être étonnamment élevé.

Dans les systèmes numériques, la gamme dynamique dépend de la précision de l'échantillonnage et la fréquence d'échantillonnage doit être adaptée aux fréquences représentatives. La relation entre le