

---

---

**Calcul de la capacité de charge des  
engrenages cylindriques à dentures  
droite et hélicoïdale —**

**Partie 5:  
Résistance et qualité des matériaux**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Calculation of load capacity of spur and helical gears —*  
*Part 5. Strength and quality of materials*  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 6336-5:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1da78bc6-add4-41c7-9298-d7f53d0e021a/iso-6336-5-2016>



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

ISO 6336-5:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1da78bc6-add4-41c7-9298-d7f53d0e021a/iso-6336-5-2016>



**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.....	iv
Introduction.....	v
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes, définitions et symboles</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b> <b>Méthode pour la détermination des contraintes admissibles de référence</b> .....	<b>3</b>
4.1 Généralités.....	3
4.2 Méthode A.....	3
4.3 Méthode B.....	3
4.4 Méthode B <sub>r</sub> .....	3
4.5 Méthode B <sub>k</sub> .....	3
4.6 Méthode B <sub>p</sub> .....	4
<b>5</b> <b>Valeurs normalisées pour la contrainte admissible de référence — Méthode B</b> .....	<b>4</b>
5.1 Application.....	4
5.2 Contrainte admissible de référence (pression de contact), $\sigma_{H \text{ lim}}$ .....	4
5.3 Contraintes de flexion pour $\sigma_{F \text{ lim}}$ et $\sigma_{FE}$ .....	5
5.3.1 Contrainte nominale de référence (flexion), $\sigma_{F \text{ lim}}$ .....	5
5.3.2 Contrainte admissible de référence (flexion), $\sigma_{FE}$ .....	5
5.3.3 Contrainte de flexion alternée.....	6
5.4 Abaques de représentation de $\sigma_{H \text{ lim}}$ , $\sigma_{F \text{ lim}}$ et $\sigma_{FE}$ .....	6
5.5 Calcul de $\sigma_{H \text{ lim}}$ et de $\sigma_{F \text{ lim}}$ .....	6
5.6 Profondeur de durcissement des roues dentées durcies superficiellement à l'état fini.....	24
5.6.1 Généralités.....	24
5.6.2 Profondeur de cémentation des engrenages cémentés et trempés.....	24
5.6.3 Profondeur de nitruration des roues dentées nitrurées.....	26
<b>6</b> <b>Exigences pour la qualité et le traitement thermique du matériau</b> .....	<b>27</b>
6.1 Aspects généraux.....	27
6.2 Aciers à faible teneur en carbone/aciers moulés normalisés, aciers non alliés (voir <a href="#">Figures 1</a> et <a href="#">2</a> ).....	28
6.3 Fonte malléable [voir <a href="#">Figures 3 a</a> ) et <a href="#">4 a</a> )].....	28
6.4 Autres matériaux [voir <a href="#">Figures 3 a</a> ), <a href="#">3 c</a> ), <a href="#">4 b</a> ), <a href="#">4 c</a> ), <a href="#">5</a> à <a href="#">16</a> ]].....	28
6.5 Témoin de traitement.....	41
6.6 Nettoyage mécanique par grenailage.....	42
6.7 Grenailage de précontrainte.....	42
6.7.1 Généralités.....	42
6.7.2 Amélioration de la résistance.....	42
6.7.3 Récupération.....	43
<b>Annexe A (informative) Dimensions de la section de contrôle pour les roues traitées dans la masse</b> .....	<b>44</b>
<b>Annexe B (informative) Coefficients de dureté à cœur</b> .....	<b>47</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>48</b>

## 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](http://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](http://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.

(standards.iteh.ai)

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'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html)

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 60, *Engrenages*, sous-comité SC 2, *Calcul de la capacité des engrenages*.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 6336-5:2003), qui fait l'objet d'une révision technique pour tenir compte des pratiques courantes de l'industrie.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 6336 peut être trouvée sur le site web ISO.

## Introduction

Le présent document ainsi que l'ISO 6336-1, l'ISO 6336-2, l'ISO 6336-3 et l'ISO 6336-6 donnent les principes pour un système cohérent de méthodes pour le calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à profil en développante de cercle à denture extérieure ou intérieure. L'ISO 6336 est conçue pour faciliter l'application des connaissances et développements futurs, aussi bien que pour échanger les informations issues de l'expérience.

Les contraintes admissibles, telles que celles décrites dans le présent document, peuvent varier très largement. De tels écarts sont dus aux défauts et aux variations de la composition chimique (charge), de la structure, de la nature et du processus d'élaboration (par exemple laminage, forgeage, taux de corroyage), du traitement thermique, des niveaux de contrainte résiduelle, etc.

Les tableaux résument les paramètres d'influence les plus importants et les exigences relatives aux différentes classes de qualité pour chaque catégorie de matériau. Les effets de ces paramètres sur la résistance à la pression de contact et la résistance à la flexion en pied de dent sont illustrés par des graphiques.

Le présent document concerne les aciers pour engrenage qui sont les plus employés et traite des méthodes de traitement thermique associées. Les recommandations sur le choix d'un matériau particulier, d'une méthode de traitement thermique ou d'un procédé de fabrication sont exclues. De plus, il n'est fait aucune mention concernant l'aptitude ou tout autre paramètre de tout matériau vis-à-vis d'une méthode de fabrication spécifique ou d'une méthode de traitement thermique.

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

ISO 6336-5:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1da78bc6-add4-41c7-9298-d7f53d0e021a/iso-6336-5-2016>

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

ISO 6336-5:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1da78bc6-add4-41c7-9298-d7f53d0e021a/iso-6336-5-2016>

# Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale —

## Partie 5: Résistance et qualité des matériaux

### 1 Domaine d'application

Le présent document décrit les contraintes de pression de contact et les contraintes en pied de dent, et donne des valeurs numériques pour ces deux contraintes limites de référence. Elle spécifie les exigences pour la qualité du matériau et le traitement thermique, et elle fournit des indications concernant leur influence sur chacune des contraintes limites de référence.

Les valeurs données dans le présent document sont valables pour les méthodes de calcul définies dans l'ISO 6336-2, l'ISO 6336-3 et l'ISO 6336-6 ainsi que dans les normes d'application pour engrenages industriels, engrenages grande vitesse et engrenages marins. Elles sont applicables aux méthodes de calcul données dans l'ISO 10300 pour déterminer la capacité de charge des engrenages coniques. Le présent document est applicable à tous les engrenages, aux tracés de référence, aux dimensions, aux approches de conception, etc., définis dans ces normes. Les résultats sont en bon accord avec d'autres méthodes les plages du domaine d'application de l'ISO 6336-1 et de l'ISO 10300-1.

(standards.iteh.ai)

### 2 Références normatives

Les documents suivants sont référencés dans le texte de sorte qu'une partie ou la totalité de leur contenu constitue des exigences 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 53, *Engrenages cylindriques de mécanique générale et de grosse mécanique — Tracé de référence*
- ISO 642, *Acier — Essai de trempabilité par trempe en bout (essai Jominy)*
- ISO 643:2012, *Aciers — Détermination micrographique de la grosseur de grain apparente*
- ISO 683-1, *Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage — Partie 1: Aciers non alliés pour trempe et revenu*
- ISO 683-2, *Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage — Partie 2: Aciers alliés pour trempe et revenu*
- ISO 683-3, *Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage — Partie 3: Aciers pour cémentation*
- ISO 683-4, *Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage — Partie 4: Aciers pour décolletage*
- ISO 683-5, *Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage — Partie 5: Aciers pour nitruration*
- ISO 1328-1, *Engrenages cylindriques — Système ISO de classification des tolérances sur flancs — Partie 1: Définitions et valeurs admissibles des écarts pour les flancs de la denture*
- ISO 2639, *Acier — Détermination et vérification de la profondeur de cémentation*

ISO 3754, *Acier — Détermination de la profondeur conventionnelle de trempe après chauffage superficiel*

ISO 4948-2, *Aciers — Classification — Partie 2: Classification des aciers alliés et aciers non alliés en fonction des principales classes de qualité et des caractéristiques principales de propriétés ou d'application*

ISO 4967, *Aciers — Détermination de la teneur en inclusions non métalliques — Méthode micrographique à l'aide d'images types*

ISO 6336-1, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale — Partie 1: Principes de base, introduction et facteurs généraux d'influence*

ISO 6336-2, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale — Partie 2: Calcul de la résistance à la pression de contact (piqûre)*

ISO 6336-3:2006, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale — Partie 3: Calcul de la résistance à la flexion en pied de dent*

ISO 9443, *Aciers pour traitements thermiques et aciers alliés — Classes de qualité de surface des ronds et fils-machine laminés à chaud — Conditions techniques de livraison*

ISO 10474, *Aciers et produits sidérurgiques — Documents de contrôle*

ISO 14104, *Engrenages — Contrôle par attaque chimique des zones surchauffées lors de la rectification*

ISO 18265, *Matériaux métalliques — Conversion des valeurs de dureté*

EN 10204, *Produits métalliques — Types de documents de contrôle*

EN 10228-1, *Essais non destructifs des pièces forgées — Partie 1: Contrôle par magnétoscopie*

EN 10228-3, *Essais non destructifs des pièces forgées en acier — Partie 3: Contrôle par ultrasons des pièces forgées en aciers ferritiques et martensitiques*

EN 10308, *Essais non destructifs — Contrôle par ultrasons des barres en acier*

ASTM<sup>1)</sup> A388-01, *Standard Practice for Ultrasonic Examination of Heavy Steel Forgings*

ASTM A609-91, *Standard Practice for Castings, Carbon, Low Alloy and Martensitic Stainless Steel, Ultrasonic Examination Thereof*

ASTM E428-00, *Standard Practice for Fabrication and Control of Steel Reference Blocks Used in Ultrasonic Inspection*

ASTM E1444-01, *Standard Practice for Magnetic Particle Examination*

### **3 Termes, définitions et symboles**

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 1122-1 et les symboles et unités donnés dans l'ISO 6336-1 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

---

1) American Society for Testing and Materials



## 4 Méthode pour la détermination des contraintes admissibles de référence

### 4.1 Généralités

Il convient de déterminer le plus souvent possible par des essais sur engrenages, les contraintes admissibles de référence, pour chaque matériau et chaque état de matériau. Il convient que les conditions d'essai et les dimensions des roues d'essai soient aussi proches que possible des conditions et des dimensions de fonctionnement des roues faisant l'objet du calcul.

Dans l'exploitation des résultats d'essai ou de données issues du fonctionnement en service, il est indispensable d'examiner si certains facteurs d'influence sur les contraintes admissibles sont déjà inclus ou non dans la donnée évaluée. Par exemple, pour la pression de contact, l'influence du film de lubrifiant, de la rugosité des flancs et de la géométrie de l'engrenage; pour la résistance à la flexion en pied de dent, le rayon et la rugosité de l'arrondi en pied de dent, ainsi que la géométrie de l'engrenage. Si une influence spécifique est incluse dans la contrainte permise déterminée d'après des essais ou à partir des informations recueillies sur le terrain, il convient que le facteur d'influence correspondant soit fixé à 1,0 dans la méthode de calcul de l'ISO 6336-2 et l'ISO 6336-3.

### 4.2 Méthode A

Les valeurs de contraintes admissibles de référence pour la pression de contact et la flexion sont déterminées par des essais d'endurance avec des roues dont les dimensions sont voisines de celles des roues devant faire l'objet du calcul dans des conditions d'essai qui sont proches des conditions de fonctionnement prévues.

### 4.3 Méthode B

Les contraintes admissibles de référence, pour la pression de contact et la flexion, sont déterminées sur la base des essais d'endurance effectués avec des roues dentées de référence dans des conditions d'essai de référence. Les contraintes admissibles de référence en pied de dent sont également déterminées par des essais au pulsateur. Il convient de prendre en compte l'expérience pratique. Les contraintes admissibles de référence normalisées spécifiées en [5.2](#) et [5.3](#) reposent sur de tels essais et une telle expérience.

Trois classes différentes, ME, MQ et ML, sont définies pour les contraintes admissibles de référence. Le choix approprié de la classe dépend du type de production et des contrôles de qualité réalisés tels que décrits à l'[Article 6](#).

### 4.4 Méthode B<sub>r</sub>

Les contraintes de référence en ce qui concerne la pression de contact découlant d'un essai de fatigue de contact sur machines à galets sont à utiliser avec précaution, car elles tendent à surestimer les contraintes admissibles de référence pour les roues dentées.

### 4.5 Méthode B<sub>k</sub>

Les contraintes admissibles de référence, pour une sollicitation en flexion, sont calculées à partir des résultats d'essais réalisés sur des éprouvettes entaillées. Il convient que le rapport du rayon d'entaille de l'éprouvette sur son épaisseur soit de préférence comparable à celui du rapport du rayon de courbure du profil de raccordement en pied de dent au niveau de l'épaisseur à la corde dans la section critique, et il convient que l'état de surface soit similaire au pied de dent. Au cours de l'exploitation des résultats, il convient de tenir compte du fait que les éprouvettes d'essai sont habituellement soumises à une contrainte de flexion répétée alors que les pieds de dent des engrenages sont soumis à une combinaison de sollicitations combinées de contrainte de flexion, de cisaillement et de compression. Les caractéristiques des différents matériaux peuvent être obtenues au moyen d'essais internes, de l'expérience acquise ou de la documentation disponible.

## 4.6 Méthode B<sub>p</sub>

Les contraintes admissibles de référence, pour une sollicitation en flexion, sont calculées à partir des résultats d'essais réalisés sur des éprouvettes non entaillées. Voir 4.5 en ce qui concerne l'interprétation de l'exploitation des résultats d'essai. Pour prendre en considération l'influence de la sensibilité à l'entaille, il est nécessaire d'inclure dans les calculs la forme et les facteurs d'entaille réels, ainsi leurs résultats seront influencés par la grande incertitude de ces facteurs. Les caractéristiques des différents matériaux peuvent être obtenues auprès de laboratoires d'essais connus ou dans la littérature du domaine.

## 5 Valeurs normalisées pour la contrainte admissible de référence — Méthode B

### 5.1 Application

Les valeurs pour la contrainte admissible de référence doivent être dérivées des [Figures 1 à 16](#) ou calculées à l'aide de la [Formule 2](#) et du [Tableau 1](#).

Les contraintes admissibles de référence, représentées aux [Figures 1 à 16](#), reposent sur l'hypothèse d'une composition du matériau, d'un traitement thermique et de méthodes de contrôle adaptés à la dimension de la roue dentée.

Lorsque des valeurs d'essai sont disponibles pour des matériaux spécifiques, elles peuvent être utilisées en lieu et place des valeurs des [Figures 1 à 16](#).

Les données fournies dans le présent document sont tout à fait justifiées par des essais et par l'expérience pratique.

Les valeurs sont choisies pour une probabilité d'endommagement de 1 %. Une analyse statistique permet l'ajustement de ces valeurs afin qu'elles correspondent à d'autres probabilités d'endommagement, mais ces ajustements requièrent une analyse attentive et peuvent nécessiter des essais spécifiques supplémentaires ou une documentation détaillée de la source d'information utilisée pour la dérivation du niveau de confiance des probabilités d'endommagement.

Lorsque d'autres probabilités d'endommagement (fiabilité) sont souhaitées, les valeurs de  $\sigma_{H \text{ lim}}$ ,  $\sigma_{F \text{ lim}}$  et  $\sigma_{FE}$  sont ajustées à l'aide d'un «facteur de fiabilité» adapté. Lorsque tel est le cas, un indice doit être ajouté pour indiquer le pourcentage approprié (par exemple,  $\sigma_{H \text{ lim}10}$  pour une probabilité de détérioration de 10 %). Pour l'analyse statistique des résultats d'essai de fatigue, voir également la Référence [6].

Les contraintes admissibles indiquées dans les [Figures 9 et 10](#) ont été déterminées pour des profondeurs de cémentation effectives d'environ  $0,15m_n$  à  $0,2m_n$  sur des roues dentées après finition.

La façon dont le niveau de dureté superficielle influence la résistance des roues durcies superficiellement, nitrurées, carbonitrurées et nitrocarburrées ne peut pas être quantifiée avec fiabilité. Les autres facteurs du matériau et du traitement thermique relatifs à la surface ont une influence nettement plus marquée.

Dans certains cas, la totalité du domaine de dureté n'est pas couverte. Les intervalles admissibles sont définis par la longueur des droites représentées aux [Figures 1 à 16](#).

Pour les aciers durcis superficiellement ([Figures 9 à 16](#)), l'échelle de dureté HV a été choisie comme axe de référence. L'échelle HRC est donnée à titre de comparaison. Pour définir la relation entre l'échelle des duretés Vickers et Rockwell, consulter les tables de conversion de l'ISO 18265.

### 5.2 Contrainte admissible de référence (pression de contact), $\sigma_{H \text{ lim}}$

La contrainte admissible de référence  $\sigma_{H \text{ lim}}$  est issue de la pression de contact qui peut être supportée par la dent pour un nombre spécifique de cycles sans apparition de piqûres évolutives. En ce qui concerne le début du domaine de longue durée de vie, se référer au facteur de vie  $Z_{NT}$  des différents

matériaux figurant dans l'ISO 6336-2 (par exemple,  $5 \times 10^7$  cycles de contraintes pour les matériaux cimentés, traités dans la masse et durcis par induction correspond au début d'un domaine de résistance pour les grandes durées de vie).

Les valeurs de  $\sigma_{H \text{ lim}}$  données aux [Figures 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13](#) et [15](#) sont valables pour les conditions de fonctionnement et les dimensions des roues d'essai de référence, telles qu'indiquées ci-après<sup>2)</sup>:

— Entraxe	$a = 100 \text{ mm}$
— Angle d'hélice	$\beta = 0$ ( $Z_\beta = 1$ )
— Module	$m = 3 \text{ mm à } 5 \text{ mm}$ ( $Z_x = 1$ )
— Rugosité moyenne crête à crête des flancs des dents	$R_z = 3 \text{ } \mu\text{m}$ ( $Z_R = 1$ )
— Vitesse tangentielle	$v = 10 \text{ m/s}$ ( $Z_v = 1$ )
— Viscosité du lubrifiant	$\nu_{50} = 100 \text{ mm}^2/\text{s}$ ( $Z_L = 1$ )
— Roues conjuguées du même matériau	( $Z_W = 1$ )
— Classe de précision de la roue dentée	4 à 6 selon l'ISO 1328-1
— Largeur de denture	$b = 10 \text{ mm à } 20 \text{ mm}$
— Facteurs généraux d'influence	$K_A = K_V = K_{H\beta} = K_{H\alpha} = 1$

Les roues d'essai sont déclarées endommagées par piqûres dans les conditions suivantes: pour des roues traitées dans la masse lorsque 2 % de la totalité des surfaces actives des flancs, ou pour les roues durcies superficiellement lorsque 0,5 % de la totalité des surfaces actives des flancs, ou si 4 % de la surface du flanc d'une seule dent est dégradé par piqûres. Les pourcentages donnés font référence à des évaluations en essai, ils ne sont pas prévus comme des limites pour les roues dentées de production.

### 5.3 Contraintes de flexion pour $\sigma_{F \text{ lim}}$ et $\sigma_{FE}$

#### 5.3.1 Contrainte nominale de référence (flexion), $\sigma_{F \text{ lim}}$

La contrainte nominale de référence (flexion),  $\sigma_{F \text{ lim}}$ , est déterminée en soumettant les roues de référence à des essais (voir ISO 6336-3). Il s'agit de la valeur limite de contrainte de flexion en fonction des influences du matériau, du traitement thermique et de la rugosité de surface des profils de raccordement en pied de dent des roues d'essai.

#### 5.3.2 Contrainte admissible de référence (flexion), $\sigma_{FE}$

La contrainte admissible de référence (flexion),  $\sigma_{FE}$ , (pour la définition de  $\sigma_{FE}$ , voir l'ISO 6336-3) est la résistance à la flexion de base d'une éprouvette non entaillée, avec l'hypothèse que la condition de sollicitation du matériau (y compris le traitement thermique) est entièrement dans le domaine élastique:

$$\sigma_{FE} = \sigma_{F \text{ lim}} \cdot Y_{ST} \quad (1)$$

Pour la roue d'essai de référence, le facteur de concentration de contrainte est  $Y_{ST} = 2,0$ . Pour tous les matériaux couverts par le présent document,  $3 \times 10^6$  cycles de contraintes correspondent au début du domaine de résistance pour les grandes durées de vie (voir le facteur de durée de vie  $Y_{NT}$  dans l'ISO 6336-3).

2) Les données obtenues sous différentes conditions d'essai ont été ajustées pour être cohérentes avec les conditions de référence. Il est important de noter que  $\sigma_{H \text{ lim}}$  n'est pas la pression de contact sous une charge continue, mais bien plutôt la limite supérieure de la pression de contact calculée conformément à l'ISO 6336-2 qui peut être supportée sans endommagement par piqûres évolutives, pour un nombre de cycles de mise en charge spécifié.

Les valeurs de  $\sigma_{F \text{ lim}}$  et  $\sigma_{FE}$  indiquées aux [Figures 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 et 16](#) sont valables pour les conditions de fonctionnement et les dimensions des roues d'essai de référence, telles qu'indiquées ci-après (voir [5.2](#)):

— Angle d'hélice	$\beta = 0$ ( $Y_{\beta} = 1$ )
— Module	$m = 3 \text{ mm à } 5 \text{ mm}$ ( $Y_X = 1$ )
— Facteur de concentration de contrainte	$Y_{ST} = 2,0$
— Paramètre d'entaille	$q_{ST} = 2,5$ ( $Y_{\delta \text{ rel-T}} = 1$ )
— Rugosité moyenne crête à crête des pieds de dent	$Rz = 10 \text{ }\mu\text{m}$ ( $Y_{R \text{ rel-T}} = 1$ )
— Classe de précision de la roue dentée	4 à 7 selon l'ISO 1328-1
— Tracé de référence	conforme à l'ISO 53
— Largeur de la denture	$b = 10 \text{ mm à } 50 \text{ mm}$
— Facteurs généraux d'influence	$K_A = K_V = K_{F\beta} = K_{F\alpha} = 1$

**5.3.3 Contrainte de flexion alternée**

Les contraintes admissibles de référence indiquées aux [Figures 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 et 16](#) sont valables pour les roues soumises à un chargement unidirectionnel et répété. Lorsque des charges alternées existent, il est exigé une valeur plus faible pour  $\sigma_{FE}$ . Dans les cas les plus sévères (par exemple, les roues intermédiaires où une charge alternée est exercée à chaque cycle de chargement), il convient de réduire les valeurs de  $\sigma_{F \text{ lim}}$  et  $\sigma_{FE}$  à 0,7 fois la valeur pour une sollicitation unidirectionnelle. Si le nombre de charges alternées est moins fréquent, on choisit un facteur différent fonction du nombre de charges alternés envisagés au cours de la durée de vie de l'engrenage. Pour une aide, voir l'ISO 6336-3:2006, Annexe B.

**5.4 Abaques de représentation de  $\sigma_{H \text{ lim}}$ ,  $\sigma_{F \text{ lim}}$  et  $\sigma_{FE}$**

Les contraintes admissibles de référence pour des valeurs de dureté en dehors des valeurs limites minimale et maximale des [Figures 1 à 16](#) sont soumises à un accord préalable entre le fabricant et l'acheteur sur la base de l'expérience acquise dans le domaine.

**5.5 Calcul de  $\sigma_{H \text{ lim}}$  et de  $\sigma_{F \text{ lim}}$**

Les contraintes admissibles de référence  $\sigma_{H \text{ lim}}$  et nominale de référence  $\sigma_{F \text{ lim}}$  basées sur les [Figures 1 à 16](#) peuvent être calculés à l'aide de l'équation suivante:

$$\left. \begin{matrix} \sigma_{H \text{ lim}} \\ \sigma_{F \text{ lim}} \end{matrix} \right\} = A \cdot x + B \tag{2}$$

où

$x$  est la dureté superficielle HBW ou HV de la surface fonctionnelle finie;

$A, B$  sont des constantes (voir [Tableau 1](#)).

Les plages de dureté sont limitées par les valeurs de dureté minimale et maximale données dans le [Tableau 1](#). Celui-ci doit être utilisé conjointement avec les [Figures 1 à 16](#).

Tableau 1 — Calcul de  $\sigma_{H \text{ lim}}$  et de  $\sigma_{F \text{ lim}}$ 

No.	Matériau	Contrainte	Type	Abréviation	Fig.	Qualité	A	B	Dureté	Dureté mini	Dureté maxi			
1	Aciers à faible teneur en carbone / aciers moulés normalisés <sup>a</sup>	Contact	Aciers à faible teneur en carbone normalisés forgés	St	1 a)	ML/ MQ	1,000	190	HBW	110	210			
2				ME	1,520	250	110	210						
3				St	1 b)	ML/ MQ	0,986	131		140	210			
4				(moulé)	ME	1,143	237	140		210				
5		Flexion	Aciers à faible teneur en carbone normalisés forgés	St	2 a)	ML/ MQ	0,455	69	HBW	110	210			
6				ME	0,386	147	110	210						
7				St	2 b)	ML/ MQ	0,313	62		140	210			
8				(moulé)	ME	0,254	137	140		210				
9	Fontes	Contact	Fonte malléable	GTS	3 a)	ML/ MQ	1,371	143	HBW	135	250			
10				(perl.)	ME	1,333	267	175		250				
11				GGG	3 b)	ML/ MQ	1,434	211		175	300			
12				Fonte à graphite sphéroïdal	ME	1,500	250	200		300				
13				GG	3 c)	ML/ MQ	1,033	213		150	240			
14				Fonte grise	ME	1,465	122	175		275				
15				Flexion	Fonte malléable	GTS	4 a)	ML/ MQ		0,345	77	HBW	135	250
16						(perl.)	ME	0,403		128	175		250	
17		GGG	4 b)			ML/ MQ	0,350	119	175	300				
18		Fonte à graphite sphéroïdal	ME			0,380	134	200	300					
19		Fonte grise	GG	4 c)	ML/ MQ	0,256	8	HBW	150	240				
20		ME	0,200	53	175	275								
21	Aciers forgés traités dans la masse <sup>b</sup>	Contact	Aciers au carbone	V	5	ML	0,963	283	HV	135	210			
22				MQ	0,925	360	135	210						
23				ME	0,838	432	135	210						
24				Aciers alliés	V	5	ML	1,313		188	HV	200	360	
25					MQ	1,313	373	200		360				
26					ME	2,213	260	200		390				
27		Flexion	Aciers au carbone	V	6	ML	0,250	108	HV	115	215			
28				MQ	0,240	163	115	215						
29				ME	0,283	202	115	215						
30				Aciers alliés	V	6	ML	0,423		104	HV	200	360	
31					MQ	0,425	187	200		360				
32	ME	0,358	231		200	390								

Tableau 1 (suite)

33	Aciers moulés traités dans la masse	Contact	Aciers au carbone	V	7	ML/	0,831	300	HV	130	215							
34				(moulé)	ME	0,951	345	130		215								
35			Aciers alliés	V	7	ML/	1,276	298	HV	200	360							
36				(moulé)	ME	1,350	356	200		360								
37		Flexion	Aciers au carbone	V	8	ML/	0,224	117	HV	130	215							
38				(moulé)	ME	0,286	167	130		215								
39			Aciers alliés	V	8	ML/	0,364	161	HV	200	360							
40				(moulé)	ME	0,356	186	200		360								
41			Aciers forgés cémentés <sup>c</sup>	Contact		Eh	9	ML	0,000	1 300	HV	600	800					
42								MQ	0,000	1 500		660	800					
43	ME	0,000						1 650	660	800								
44	Flexion	Dureté à cœur: ≥25 HRC, inférieure		Eh	10		ML	0,000	312	HV	600	800						
45							MQ	0,000	425		660	800						
46							ME	0,000	461		660	800						
47							ML	0,000	500		660	800						
48							ME	0,000	525		660	800						
49	Aciers forgés et aciers moulés durcis à la flamme ou par induction	Contact		IF	11	ML	0,740	602	HV	485	615							
50						MQ	0,541	882		500	615							
51						ME	0,505	1 013		500	615							
52		Flexion		IF	12		ML	0,305	76	HV	485	615						
53							MQ	0,138	290		500	570						
54							ME	0,000	369		570	615						
55							ML	0,271	237		500	615						
56							Aciers forgés nitrurés / aciers nitrurés <sup>d</sup> / aciers traités dans la masse <sup>b</sup> nitrurés	Contact	Aciers nitrurés		NT (nitr.)	13 a)	ML	0,000	1 125	HV	650	900
57													MQ	0,000	1 250		650	900
58	ME	0,000	1 450	650	900													
59		Aciers traités dans la masse	NV (nitr.)	13 b)		ML		0,000	788	HV	450	650						
60						MQ		0,000	998		450	650						
61						ME		0,000	1 217		450	650						
62	Flexion	Aciers nitrurés	NT (nitr.)	14 a)		ML		0,000	270	HV	650	900						
63						MQ		0,000	420		650	900						
64						ME		0,000	468		650	900						
65		Aciers traités dans la masse	NV (nitr.)	14 b)				ML	0,000	258	HV	450	650					
66								MQ	0,000	363		450	650					
67								ME	0,000	432		450	650					

Tableau 1 (suite)

68	Aciers forgés nitro- carburés <sup>e</sup>	Contact	Aciers traités dans la masse	NV (nitro- car.)	15	ML	0,000	650	HV	300	650
69					MQ/ ME	1,167	425	300		450	
70						0,000	950	450		650	
71		Flexion	Aciers traités dans la masse	NV (nitro- car.)	16	ML	0,000	224	HV	300	650
72					MQ/ ME	0,653	94	300		450	
73					0,000	388	450	650			

NOTE Le [Tableau 1](#) doit être utilisé conjointement avec les notes de bas de page correspondant aux [Figures 1 à 16](#).

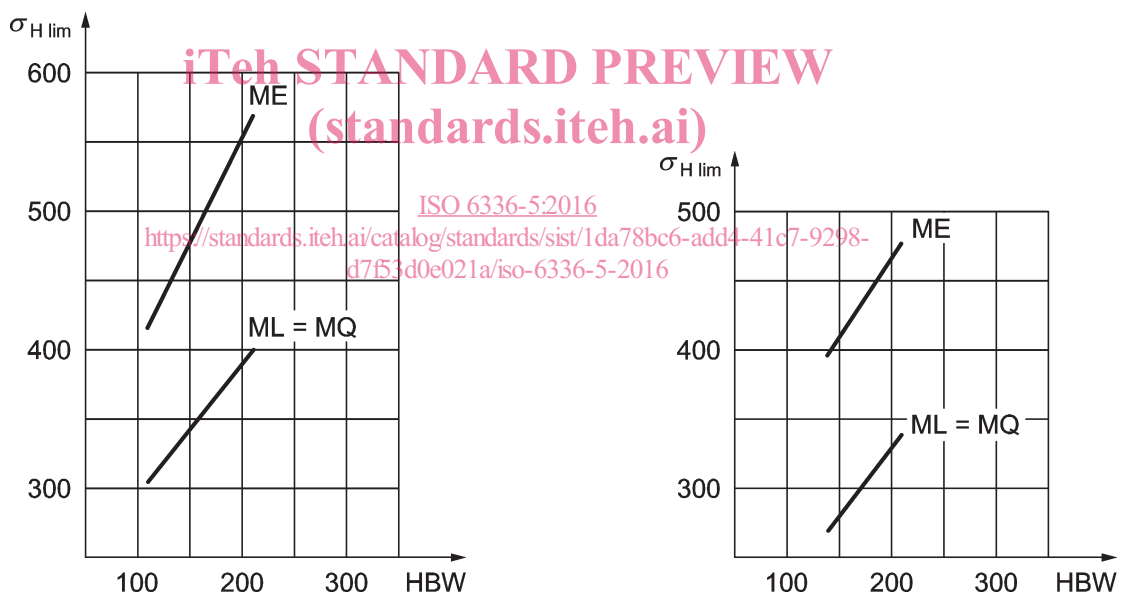
a Conformément à l'ISO 4948-2.

b Conformément à l'ISO 683-1 et l'ISO 683-2.

c Conformément à l'ISO 683-3.

d Conformément à l'ISO 683-5.

e Conformément à l'ISO 683-1, l'ISO 683-2, l'ISO 683-3 ou l'ISO 683-5.



a) Aciers à faible teneur en carbone forgés normalisés

b) Aciers moulés

### Légende

$\sigma_{H \text{ lim}}$  contrainte admissible de référence (pression de contact), N/mm<sup>2</sup>

HBW dureté superficielle

**Figure 1 — Contraintes admissibles de référence (pression de contact) pour les aciers à faible teneur en carbone forgés normalisés et les aciers moulés**  
(accorder une attention toute particulière aux exigences de qualité du [6.2](#))