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

Partie 30:
**Exemples d'application de l'ISO 6336
parties 1, 2, 3, 5**

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Calculation of load capacity of spur and helical gears —

*Part 30: Calculation examples for the application of ISO 6336 parts
1,2,3,5*

[ISO/TR 6336-30:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2184aea8-892d-4d1c-8b88-3e9fb264746e/iso-tr-6336-30-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2184aea8-892d-4d1c-8b88-3e9fb264746e/iso-tr-6336-30-2017>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 6336-30:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2184aea8-892d-4d1c-8b88-3e9fb264746e/iso-tr-6336-30-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2184aea8-892d-4d1c-8b88-3e9fb264746e/iso-tr-6336-30-2017>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017, 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 |
| 1 Domaine d'application | 1 |
| 2 Références normatives | 1 |
| 3 Termes, définitions, symboles et unités | 1 |
| 3.1 Termes et définitions..... | 1 |
| 3.2 Symboles et unités..... | 2 |
| 4 Exemples pratiques | 5 |
| 4.1 Généralités..... | 5 |
| 4.2 Remarques particulières..... | 6 |
| 4.2.1 Calcul de l'écart de pas de base, f_{pb} , et application aux tolérances de rodage..... | 6 |
| 4.2.2 Calcul de la rigidité d'engrènement, c_{γ} | 6 |
| 4.2.3 Application des facteurs d'influence film lubrifiant, Z_L , Z_V et Z_R , dureté, Z_W , et dimension, Z_X | 6 |
| 4.2.4 Application du facteur d'écrouissage, Z_W | 6 |
| 4.2.5 Détermination de R_z | 6 |
| 4.2.6 Largeur de denture pour les calculs impliquant des engrenages à denture en chevron (à double hélice)..... | 7 |
| 4.2.7 Calcul de ε_{β} pour les engrenages à denture en chevron (à double hélice)..... | 7 |
| 4.2.8 Calcul de $f_{H\beta 5}$ et de $f_{H\beta}$ | 7 |
| 4.2.9 Tolérances d'hélice $f_{H\beta 5}$ et $f_{H\beta}$ pour les engrenages à denture en chevron (à double hélice)..... | 7 |
| 4.2.10 Calcul du diamètre de pied, d_f | 7 |
| 4.2.11 Amendement à l'ISO 6336-3:2006, Formule (10), valeur auxiliaire E | 7 |
| 4.2.12 Calcul pour les engrenages à denture intérieure..... | 7 |
| 4.3 Exemple 1: engrenage à denture hélicoïdale simple cémentée trempée et revenue..... | 7 |
| 4.4 Exemple 2: engrenage à denture hélicoïdale simple trempée et revenue..... | 11 |
| 4.5 Exemple 3: engrenage à denture droite trempée et revenue..... | 15 |
| 4.6 Exemple 4: engrenage à denture droite cémentée trempée et revenue..... | 19 |
| 4.7 Exemple 5: engrenage à denture droite avec pignon durci superficiellement par trempé après chauffage par induction et roue moulée trempée et revenue..... | 24 |
| 4.8 Exemple 6: engrenage à denture intérieure droite trempée et revenue..... | 28 |
| 4.9 Exemple 7: engrenage à denture en chevron (à double hélice) trempée et revenue..... | 32 |
| 4.10 Exemple 8: engrenage à denture hélicoïdale simple cémentée trempée et revenue..... | 36 |
| Annexe A (informative) Présentation des calculs de l'exemple 1 | 41 |
| Bibliographie | 61 |

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 attirée 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.

(standards.iteh.ai)

Pour une explication de la nature volontaire des normes, 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/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 60, *Engrenages*, sous-comité SC 2, *Calcul de la capacité des engrenages*.

Introduction

La série ISO 6336 se compose de Normes internationales, de Spécifications techniques (TS) et de Rapports techniques (TR) sous le titre général *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale* (voir [Tableau 1](#)).

- Les Normes internationales contiennent des méthodes de calcul basées sur des pratiques largement admises qui ont été validées.
- Les Spécifications techniques (TS) contiennent des méthodes de calcul qui font toujours l'objet de développements.
- Les Rapports techniques (TR) contiennent des données à caractère informatif, telles que des exemples de calcul.

Les procédures spécifiées dans les ISO 6336-1 à ISO 6336-19 couvrent les analyses de fatigue pour la classification des engrenages. Les procédures décrites dans les ISO 6336-20 à ISO 6336-29 sont principalement liées au comportement tribologique du contact sur la surface d'un flanc lubrifié. Les ISO 6336-30 à ISO 6336-39 incluent des exemples de calcul. La série ISO 6336 permet l'ajout de nouvelles parties en nombre suffisant pour refléter les connaissances qui pourront être acquises à l'avenir.

Toute demande de calculs selon l'ISO 6336 sans référence à des parties spécifiques nécessite d'utiliser uniquement les parties désignées comme Normes internationales (voir la liste du [Tableau 1](#)). Si des Spécifications techniques (TS) sont requises comme faisant partie du calcul de la capacité de charge, elles doivent être spécifiées. L'utilisation d'une Spécification technique en tant que critère d'acceptation pour une conception spécifique est soumise à un accord commercial.

Tableau 1 — Parties de l'ISO 6336 (état à la date de publication)

| Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale | Norme internationale | Spécification technique | Rapport technique |
|--|----------------------|-------------------------|-------------------|
| Partie 1: Principes de base, introduction et facteurs généraux d'influence | X | | |
| Partie 2: Calcul de la résistance à la pression de contact (piqûre) | X | | |
| Partie 3: Calcul de la résistance à la flexion en pied de dent | X | | |
| Partie 4: Calcul de la capacité de charge de la rupture en flanc de dent | | X | |
| Partie 5: Résistance et qualité des matériaux | X | | |
| Partie 6: Calcul de la durée de vie en service sous charge variable | X | | |
| Partie 20: Calcul de la capacité de charge au grippage (applicable également aux engrenages conique et hypoïde) — Méthode de la température-éclair (remplace: ISO/TR 13989-1) | | X | |
| Partie 21: Calcul de la capacité de charge au grippage (applicable également aux engrenages conique et hypoïde) — Méthode de la température intégrale (remplace: ISO/TR 13989-2) | | X | |
| Partie 22: Calcul de la capacité de charge aux micropiqûres (remplace: ISO/TR 15144-1) | | X | |
| Partie 30: Exemples de calculs selon les normes ISO 6336-1 à ISO 6336-5 | | | X |
| Partie 31: Exemples de calcul de la capacité de charge aux micropiqûres (remplace: ISO/TR 15144-2) | | | X |

Le présent document fournit des exemples pratiques d'application des méthodes de calcul définies dans l'ISO 6336-1, l'ISO 6336-2, l'ISO 6336-3 et l'ISO 6336-5. Les exemples de calcul donnés couvrent les applications relatives aux engrenages cylindriques à profil en développante à dentures extérieure ou intérieure droite, hélicoïdale à simple ou double hélice, dans des conditions de fonctionnement à grande

vitesse et à faible vitesse, et permettent de déterminer les coefficients de sécurité ISO par rapport à la résistance à la formation de piqûres sur les flancs et la résistance à la flexion en pied de dent pour chaque engrenage. Sauf remarque particulière, les méthodes de calcul utilisées sont celles présentées dans l'ISO 6336-1, l'ISO 6336-2, l'ISO 6336-3 et l'ISO 6336-5. Les remarques particulières incluses dans le présent document se rapportent à des points particuliers des méthodes de calcul présentées dans les normes en vigueur nécessitant des éclaircissements ou comportant des erreurs rédactionnelles. Les modifications exposées dans ces remarques seront mises en œuvre dans les prochaines versions de l'ISO 6336-1, l'ISO 6336-2, l'ISO 6336-3 et l'ISO 6336-5. Le présent document ne contient aucun autre calcul que ceux présentés dans les documents de référence.

Huit exemples pratiques sont proposés, les données d'entrée nécessaires pour chaque engrenage étant fournies au début du calcul. Les calculs sont présentés en détail pour un exemple pratique, la synthèse des résultats obtenus pour chacun des exemples suivants étant présentée sous forme de tableau.

Les classes de tolérance ISO définies dans l'ISO 1328-1:1995 s'appliquent à tous les calculs contenus dans le présent document. L'utilisation des classes de tolérance décrites dans l'ISO 1328-1:2013 conduirait à des écarts au niveau des résultats des calculs.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 6336-30:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2184aea8-892d-4d1c-8b88-3e9fb264746e/iso-tr-6336-30-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2184aea8-892d-4d1c-8b88-3e9fb264746e/iso-tr-6336-30-2017>

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

Partie 30: Exemples d'application de l'ISO 6336 parties 1, 2, 3, 5

1 Domaine d'application

Le présent document fournit des exemples pratiques qui appliquent exclusivement les méthodes d'approximation permettant de déterminer des facteurs d'influence spécifiques, tels que le facteur dynamique, K_V , et les facteurs de distribution de charge, $K_{H\alpha}$, $K_{H\beta}$, etc., pour lesquelles des méthodes de calcul analytiques complètes sont fournies dans les documents ISO 6336 référencés.

Les exemples pratiques couvrant des méthodes et des techniques d'analyse plus avancées ne relèvent pas du domaine d'application du présent document.

Les exemples de calcul donnés dans le présent document sont fournis à titre indicatif pour l'application de l'ISO 6336-1, de l'ISO 6336-2, de l'ISO 6336-3 et de l'ISO 6336-5. Aucune des valeurs, aucun des coefficients de sécurité ni aucune des données présentés ne sauraient être interprétés comme des critères recommandés pour des engrenages réels. Les données qui figurent dans le présent document visent à faciliter l'application des méthodes de calcul de l'ISO 6336-1, de l'ISO 6336-2, de l'ISO 6336-3 et de l'ISO 6336-5.

2 Références normatives

[ISO/TR 6336-30:2017](https://www.iso.org/standard/6336-30-2017)

<https://www.iso.org/standard/6336-30-2017>

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, 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 1122-1, *Vocabulaire des engrenages — Partie 1: Définitions géométriques*

ISO 6336 (toutes les parties), *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale*

3 Termes, définitions, symboles et unités

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 1122-1 et l'ISO 6336 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:

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

3.2 Symboles et unités

Les unités de longueur choisies sont le mètre, le millimètre et le micromètre conformément à la pratique courante. Les conversions des unités sont déjà incluses dans les formules données.

| Symbol | Description | Unit |
|--------------------|---|--|
| a | entraxe | mm |
| B_1 | constante | — |
| B_2 | constante | — |
| B_f | nombre sans dimension | — |
| B_K | nombre sans dimension | — |
| B_p | nombre sans dimension | — |
| b | largeur de denture (largeur totale dans le cas d'une denture en chevron (à double hélice)) | mm |
| b_B | largeur de denture d'une des hélices dans le cas d'une denture en chevron (à double hélice) ($b/2$) | mm |
| b_{eff} | largeur de denture commune en prise | mm |
| C_a | dépouille de tête | μm |
| C_B | facteur de crémaillère de référence | — |
| C_M | facteur de correction | — |
| C_R | facteur de corps de roue | — |
| C_{v1} | constante | — |
| C_{v2} | constante | — |
| C_{v3} | constante | — |
| C_{v4} | constante | — |
| C_{v5} | constante | — |
| C_{v6} | constante | — |
| C_{v7} | constante | — |
| C_{ZL} | exposant du facteur du film lubrifiant | — |
| C_{ZR} | exposant du facteur de rugosité | — |
| $c_{\gamma\alpha}$ | valeur moyenne de la rigidité d'engrènement par unité de largeur de denture | $\text{N}/(\text{mm}\cdot\mu\text{m})$ |
| $c_{\gamma\beta}$ | valeur moyenne de la rigidité d'engrènement par unité de largeur de denture | $\text{N}/(\text{mm}\cdot\mu\text{m})$ |
| c' | rigidité maximale par unité de largeur de denture d'un engrenage | $\text{N}/(\text{mm}\cdot\mu\text{m})$ |
| c'_{th} | rigidité simple théorique | $\text{N}/(\text{mm}\cdot\mu\text{m})$ |
| d_a | diamètre extérieur | mm |
| d_{an} | diamètre de tête virtuel | mm |
| d_{bn} | diamètre de base virtuel | mm |
| d_{en} | diamètre virtuel au point le plus haut de contact unique | mm |
| d_m | diamètre au cylindre moyen de la denture | mm |
| d_n | diamètre de référence virtuel | mm |
| d_w | diamètre primitif de fonctionnement | mm |
| E | valeur auxiliaire (pour le facteur de forme) | — |
| $F_{\beta x}$ | désalignement équivalent initial | μm |
| $F_{\beta y}$ | désalignement équivalent effectif | μm |
| f_{taeff} | écart de profil effectif après rodage | μm |
| F_M | effort tangentiel moyen | N |
| $f_{t\alpha}$ | écart de forme de profil (ISO 1328-1:1995) | μm |
| $f_{H\beta}$ | écart d'inclinaison d'hélice (ISO 1328-1:1995) | μm |

| Symbol | Description | Unit |
|--------------------|--|--|
| f_{ma} | désalignement d'engrènement du aux écarts de fabrication | μm |
| f_{pb} | écart de pas de base apparent | μm |
| $f_{pb\text{eff}}$ | écart individuel de pas effectif après rodage | μm |
| f_{pt} | écart de pas apparent (ISO 1328-1:1995) | μm |
| f_{sh} | désalignement équivalent | μm |
| F_t | effort tangentiel nominal dans le plan apparent | N |
| F_{tH} | effort tangentiel dans le plan apparent déterminant pour les contraintes | N |
| G | valeur auxiliaire (pour le facteur de forme) | — |
| H | valeur auxiliaire (pour le facteur de forme) | — |
| h | hauteur de dent | mm |
| h_{Fe} | bras de levier du moment de flexion | mm |
| h_{fP} | coefficient de creux de la crémaillère de référence | mm |
| h_K | chanfrein de tête | mm |
| K | constante | — |
| K_A | facteur d'application | — |
| $K_{F\alpha}$ | facteur de distribution transversale de la charge | — |
| $K_{F\beta}$ | facteur de distribution longitudinale de la charge | — |
| $K_{H\alpha}$ | facteur de distribution transversale de la charge | — |
| $K_{H\beta}$ | facteur de distribution longitudinale de la charge | — |
| K_v | facteur dynamique | — |
| k | nombre de dents pour la cote k dents | — |
| L | paramètre auxiliaire d'entaille | — |
| m_n | module normal | mm |
| m_{red} | masse réduite d'un engrenage par unité de largeur de denture | kg/mm |
| N | facteur de résonance | — |
| $n_{1,2}$ | vitesse de rotation du pignon (ou de la roue) | min^{-1} |
| n_{E1} | vitesse de résonance | min^{-1} |
| N_F | exposant | — |
| N_L | nombre de cycles de mise en charge | — |
| p_{bn} | pas de base virtuel | mm |
| q | surépaisseur d'ébauche | mm |
| q_s | paramètre d'entaille | — |
| q_{sT} | paramètre d'entaille de l'éprouvette de référence normalisée | — |
| q' | flexibilité d'une paire de dents en contact | $(\text{mm}\cdot\mu\text{m})/\text{N}$ |
| R_a | rugosité moyenne arithmétique, $R_a = 1/6 R_z$ | μm |
| R_z | rugosité de surface moyenne crête à crête (comme spécifié dans l'ISO 4287 et l'ISO 4288) | μm |
| R_{z10} | rugosité relative moyenne crête à crête d'un engrenage | μm |
| S_F | coefficient de sécurité pour la flexion | — |
| S_{Fn} | corde normale en pied de dent | mm |
| S_H | coefficient de sécurité pour la résistance à la pression de contact | — |
| s | décalage de la distance entre paliers | mm |
| s_{pr} | interférence de taillage résiduelle | mm |
| $T_{1,2}$ | couple nominal sur le pignon/la roue | Nm |
| v | vitesse tangentielle | m/s |

| Symbol | Description | Unit |
|--------------------------|--|-------------------------|
| W_k | cote d'écartement sur k dents | mm |
| x | coefficient de déport nominal | — |
| x_E | coefficient de déport effectif | — |
| Y_B | facteur d'épaisseur de jante | — |
| Y_{DT} | facteur de hauteur de dent | — |
| Y_F | facteur de forme | — |
| Y_{NT} | facteur de durée de vie | — |
| Y_{RrelT} | facteur d'état de surface relatif | — |
| Y_S | Facteur de concentration de contrainte | — |
| Y_{ST} | Facteur de concentration de contrainte relatif aux dimensions des engrenages d'essai de référence | — |
| Y_X | facteur de dimension | — |
| y_α | tolérance de rodage | μm |
| Y_β | facteur d'angle d'hélice | — |
| y_β | tolérance de rodage | μm |
| $Y_{\delta relT}$ | facteur de sensibilité relative à l'entaille pour la contrainte de référence | — |
| y_f | tolérance de rodage | μm |
| Z_B | facteur de contact unique | — |
| Z_β | facteur d'angle d'hélice | — |
| Z_D | facteur de contact unique | — |
| Z_E | facteur d'élasticité | N/mm^2 |
| Z_ε | facteur de rapport de conduite | — |
| Z_H | facteur géométrique | — |
| Z_L | facteur lubrifiant | — |
| z | nombre de dents | — |
| z_n | nombre virtuel de dents | — |
| Z_{NT} | facteur de durée de vie | — |
| Z_R | facteur de rugosité | — |
| Z_v | facteur de vitesse | — |
| Z_W | facteur d'écrouissage | — |
| Z_X | facteur de dimension | — |
| α_n | angle de pression normal | $^\circ$ |
| α_{en} | angle de pression du facteur de forme de l'engrenage droit équivalent | $^\circ$ |
| α_{Fen} | angle de direction de charge au point le plus haut de contact unique de la roue à denture droite équivalente | $^\circ$ |
| α_t | angle de pression apparent | $^\circ$ |
| α_{wt} | angle de pression apparent de fonctionnement | $^\circ$ |
| β | angle d'hélice | $^\circ$ |
| ε_α | rapport de conduite apparent | — |
| $\varepsilon_{\alpha n}$ | rapport de conduite virtuel | — |
| ε_β | rapport de recouvrement | — |
| ε_γ | rapport de conduite total | — |
| γ | angle auxiliaire | $^\circ$ |
| ν_{40} | viscosité cinématique du lubrifiant | mm^2/s |
| ρ | densité de matériau | kg/mm^3 |

ITIH STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

ISO/TR 6336-30:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2184aea8-892d-4d1c-8b88-3e9fb264746e/iso-tr-6336-30-2017>

| Symbol | Description | Unit |
|-----------------------|---|-------------------|
| ρ | rayon de courbure | mm |
| ρ_F | rayon du profil de raccordement en pied de dent | mm |
| ρ_{fP} | coefficient d'arrondi en pied du profil de crémaillère de référence | mm |
| ρ_{red} | rayon de courbure équivalent | mm |
| ρ' | épaisseur superficielle affectée par le glissement | mm |
| θ | valeur auxiliaire (pour le facteur de forme) | rad |
| σ_{FO} | contrainte de base en pied de dent | N/mm ² |
| σ_F | contrainte effective en pied de dent | N/mm ² |
| σ_{Flim} | contrainte admissible de référence (flexion) | N/mm ² |
| σ_{FP} | contrainte de flexion admissible en pied de dent | N/mm ² |
| $\sigma_{FPlonglife}$ | contrainte de flexion admissible (longue durée de vie) | N/mm ² |
| σ_{FPref} | contrainte de flexion admissible (de référence) | N/mm ² |
| σ_H | pression de contact effective | N/mm ² |
| σ_{Hlim} | contrainte admissible de référence (pression de contact) | N/mm ² |
| σ_{HO} | pression de contact de base au point primitif | N/mm ² |
| σ_{HP} | pression de contact admissible | N/mm ² |
| $\sigma_{HPlonglife}$ | pression de contact admissible (longue durée de vie) | N/mm ² |
| σ_{HPref} | pression de contact admissible (de référence) | N/mm ² |
| χ^* | gradient de contrainte relatif dans le fond d'une entaille | mm ⁻¹ |
| χ^*_P | gradient de contrainte – éprouvette polie | mm ⁻¹ |
| χ^*_T | gradient de contrainte – éprouvette de référence | mm ⁻¹ |
| 1 | pignon | — |
| 2 | roue | — |
| 1.9 | numérotation générale | — |

4 Exemples pratiques

4.1 Généralités

Ce document donne des exemples de calcul du coefficient de sécurité pour la résistance à la pression de contact, S_H , et du coefficient de sécurité pour la rupture de dent, S_F . Pour tous les exemples dans lesquels diverses méthodes de calcul sont présentées pour la détermination de facteurs d'influence spécifiques, les méthodes d'approximation décrites dans les documents ISO 6336 s'appliquent. Si une méthode particulière est utilisée pour calculer un paramètre d'influence donné, elle est notée sous forme d'indice au niveau du facteur concerné (comme défini dans l'ISO 6336-1).

Dans les exemples présentés, les calculs basés sur les données d'entrée conduisent à des applications particulières de la méthode de calcul pour mettre en évidence l'influence de la géométrie, de la qualité de fabrication ou de l'application.

Dans l'exemple 1, la méthode de calcul complète est présentée avec les formules. Dans les calculs suivants, seuls les données d'entrée et les résultats sont fournis, sous forme de tableau.

Dans un certain nombre de cas, les exemples de calcul ci-après intègrent des éclaircissements concernant la méthode ou des critères particuliers qui diffèrent légèrement de ceux des définitions fournies dans l'ISO 6336-1, l'ISO 6336-2 et l'ISO 6336-3. Ces éclaircissements illustrent le but véritablement recherché par les méthodes présentées dans l'ISO 6336-1, l'ISO 6336-2 et l'ISO 6336-3, et sont définis en 4.2.

NOTE 1 Les calculs et les résultats présentés ont été produits au moyen de procédures informatisées. Dans le cas de calculs manuels, de petites différences peuvent apparaître entre les résultats.

NOTE 2 Dans les résultats présentés, toutes les valeurs de facteurs K sont arrondies à deux décimales près (X,XX); pour autant, dans les calculs réels, les valeurs non arrondies ont été utilisées pour déterminer les résultats correspondant à chaque facteur.

4.2 Remarques particulières

4.2.1 Calcul de l'écart de pas de base, f_{pb} , et application aux tolérances de rodage

La valeur de f_{pb} est calculée au moyen de la [Formule \(1\)](#) et s'applique sans être arrondie:

$$f_{pb} = f_{pt} \cdot \cos(\alpha_t) \quad (1)$$

où f_{pt} est donné par l'ISO 1328-1.

Le calcul du facteur de distribution transversale de la charge, $K_{H\alpha}$, et de la tolérance de rodage, y_α , reproduit le raisonnement issu de l'ISO 6336-1.

Les critères définis dans l'ISO 6336-1:2006, 8.3.1, note de bas de page n°12 ne doivent être appliqués qu'à l'ISO 6336-1:2006, 8.3.1 pour le calcul de $K_{H\alpha}$ et de $K_{F\alpha}$. Pour le calcul de la tolérance de rodage, y_α , selon l'ISO 6336-1:2006, 8.3.5, il convient donc de ne pas appliquer la note de bas de page n°12. Il convient de ne jamais remplacer f_{pb} par $f_{t\alpha}$, et il faut utiliser la plus grande des valeurs entre f_{pb1} et f_{pb2} pour la Formule (78).

4.2.2 Calcul de la rigidité d'engrènement, c_γ

Le calcul de la rigidité d'engrènement, c_γ , selon la méthode B de l'ISO 6336-1:2006, 9.3.2 est utilisé pour tous les exemples de calcul. Le coefficient de déport nominal, x , et le creux de la crémaillère de référence, h_{fp} , sont utilisés pour tous les calculs de c_γ . Le coefficient de déport de fabrication, x_E , n'est pas utilisé, même si x_E est utilisé pour d'autres calculs de résistance associés au pied de dent (par exemple, exemple 7).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2184aea8-892d-4d1c-8b88-3e9fb264746e/iso-tr-6336-30-2017>

4.2.3 Application des facteurs d'influence film lubrifiant, Z_L , Z_v et Z_R , dureté, Z_W , et dimension, Z_X

Selon les documents ISO 6336, les valeurs de la pression de contact admissible de référence pour l'état statique et l'état de référence, y compris tous les facteurs d'influence applicables définis, devront être calculées. Pour une durée de vie limitée, une interpolation linéaire sur une échelle log-log, selon la méthode utilisée pour Z_{NT} , entre ces deux valeurs doit être appliquée. L'interpolation additionnelle pour les facteurs Z_L , Z_v et Z_R et Z_W , Z_X ne s'applique pas.

4.2.4 Application du facteur d'érouissage, Z_W

Dans l'exemple 5, dans lequel un pignon durci superficiellement est utilisé avec une roue traitée dans la masse, le calcul de Z_W est utilisé et appliqué séparément pour le pignon et pour la roue, c'est-à-dire que $Z_{W1} = 1,0$ pour le pignon durci et que Z_{W2} est calculé conformément à l'ISO 6336-2:2006, 13.2. Cela s'explique par le fait que seul le membre le plus tendre bénéficie de l'effet d'érouissage. Dans tous les autres cas où les deux engrenages sont soit traités dans la masse, soit durcis superficiellement, $Z_{W1,2} = 1$ pour le pignon comme pour la roue.

4.2.5 Détermination de R_z

La détermination de R_z à partir des valeurs de R_a telles que spécifiées s'appuie sur l'approximation suggérée dans l'ISO 6336-2:2006, 12.3.1.3.1, note de bas de page n°3, où $R_z = 6 R_a$.

4.2.6 Largeur de denture pour les calculs impliquant des engrenages à denture en chevron (à double hélice)

Dans les calculs qui impliquent des engrenages à denture en chevron (à double hélice) (comme dans l'exemple 7), pour l'application de l'ISO 6336-2:2006, Formule (35), b_B doit être utilisé à la place de b .

4.2.7 Calcul de ε_β pour les engrenages à denture en chevron (à double hélice)

Pour le calcul de ε_β pour les engrenages à denture en chevron (à double hélice), il convient que la valeur s'applique à une seule hélice. Par exemple, il convient de remplacer la valeur de la largeur de denture b par b_B .

4.2.8 Calcul de $f_{H\beta 5}$ et de $f_{H\beta}$

Le calcul de $f_{H\beta 5}$ utilisé pour déterminer le désalignement équivalent initial, $F_{\beta x}$, dans l'ISO 6336-1:2006, 7.5.2.3 est réalisé conformément à l'ISO 1328-1:1995 pour la classe de tolérance 5, et l'arrondi requis est appliqué.

4.2.9 Tolérances d'hélice $f_{H\beta 5}$ et $f_{H\beta}$ pour les engrenages à denture en chevron (à double hélice)

Pour calculer les valeurs d'écart d'hélice, $f_{H\beta 5}$ et $f_{H\beta}$, pour les engrenages à denture en chevron (à double hélice), il convient d'utiliser la largeur de denture d'une seule hélice, c'est-à-dire b_B .

4.2.10 Calcul du diamètre de pied, d_f

Pour tous les calculs décrits dans le présent document, le diamètre de pied, d_f , est calculé au moyen du coefficient de déport nominal, x , et non du coefficient de déport effectif, x_E .

4.2.11 Amendement à l'ISO 6336-3:2006, Formule (10), valeur auxiliaire E

Dans l'ISO 6336-3:2006, Formule (10), il convient de remplacer le symbole ρ_{fp} par ρ_{fpv} .

4.2.12 Calcul pour les engrenages à denture intérieure

Dans tous les calculs qui impliquent des engrenages à denture intérieure (exemple 6), les données d'entrée utilisent des valeurs de diamètre négatives comme défini dans l'ISO 6336. Pour autant, il convient de noter que cet usage diffère de la terminologie de l'ISO 21771, qui utilise des valeurs positives.

4.3 Exemple 1: engrenage à denture hélicoïdale simple cémentée trempée et revenue

Pour l'exemple 1, les valeurs d'entrée et de sortie sont données dans les [Tableaux 2](#) et [3](#), respectivement.

Le calcul est présenté en détail à l'[Annexe A](#).

Tableau 2 — Valeurs d'entrée pour l'exemple 1

| Type | Description | Unité | Symbole | Pignon | Roue |
|-----------|-----------------------------|-------|----------|--------|--------|
| Géométrie | Nombre de dents | — | z | 17 | 103 |
| | Module normal | mm | m_n | 8,00 | |
| | Angle de pression normal | — | α | 20,00 | |
| | Angle d'hélice | — | β | 15,80 | |
| | Sens de l'hélice | — | — | Gauche | Droite |
| | Largeur de denture (totale) | mm | b | 100,00 | 100,00 |
| | Largeur de gorge centrale | mm | — | 0 | 0 |
| | Chanfrein d'extrémité | mm | — | 0,00 | 0,00 |

Tableau 2 (suite)

| Type | Description | Unité | Symbole | Pignon | Roue |
|--|--|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
| | Largeur de denture commune en prise (totale) | mm | b_{eff} | 100,00 | |
| | Entraxe | mm | a | 500,00 | |
| | Cote d'écartement sur k dents | mm | W_k | 38,196 | 307,943 |
| | Nombre de dents pour la cote k dents | — | k | 2 | 13 |
| Géométrie | Dimension entre les billes | mm | M_{dK} | — | — |
| | Diamètre des billes | mm | D_M | — | — |
| | Coefficient de déport nominal | — | x | 0,145 | 0,000 |
| | Coefficient de déport de fabrication (pour réf. uniquement) | — | x_E | (0,118) | (-0,027) |
| | Diamètre extérieur | mm | d_a | 159,66 | 872,35 |
| | Coefficient de creux de la crémaillère de référence | — | h_{fP}/m_n | 1,400 | 1,400 |
| | Chanfrein de tête | mm | | 0,00 | 0,00 |
| | Coefficient d'arrondi en pied du profil de crémaillère de référence | — | ρ_{fP}/m_n | 0,39 | 0,39 |
| | Dégagement de pied de la crémaillère de référence telle que découpée | mm | p_r | 0,00 | 0,00 |
| | Surépaisseur d'ébauche | mm | q | 0,00 | 0,00 |
| | Interférence de taillage résiduelle (calculé: $p_r - q$) | mm | s_{pr} | 0,00 | 0,00 |
| | Nombre de dents de l'outil pignon | — | z_0 | — | — |
| | Déport de l'outil pignon (réf.) | — | x_0 | — | — |
| | Procédé de finition des flancs | — | — | Brute de taillage | Brute de taillage |
| | Procédé de finition des pieds de dent | — | — | Brute de taillage | Brute de taillage |
| Coefficient de déport utilisé pour les calculs | — | — | Nominal (x) | Nominal (x) | |
| Dépouille de tête | μm | C_a | 70 | | |
| Tolérance | Classe de tolérance ISO | — | — | 5 | 5 |
| | Écart individuel de pas | μm | f_{pt} | 8,0 | 9,5 |
| | Écart de forme de profil | μm | $f_{f\alpha}$ | 10,0 | 12,0 |
| | Écart d'inclinaison d'hélice | μm | $f_{H\beta}$ | 8,5 | 9,5 |
| | Rugosité de surface – flanc Ra (Rz) | μm | | 1,0 (6,0) | 1,0 (6,0) |
| | Rugosité de surface – profil de raccordement Ra (Rz) | μm | — | 3,0 (18,0) | 3,0 (18,0) |
| Matériau | Matériau | — | — | Eh | Eh |
| | Qualité du matériau | — | — | MQ | MQ |
| | Dureté superficielle | — | — | 60 HRC | 60 HRC |
| | Dureté à cœur | — | — | 30 HRC | 30 HRC |
| | Module de Young | N/mm ² | E | 206 000 | 206 000 |
| | Coefficient de Poisson | — | ν | 0,3 | 0,3 |
| | Limite élastique/limite élastique conventionnelle | N/mm ² | $\sigma_S/\sigma_{0.2}$ | — | — |
| | Grenailage de précontrainte | — | — | Non | Non |
| | Formation limitée de piqûres admise | — | — | Non | Non |
| | Facteur d'application | — | K_{A-A} | 1,00 | |

Tableau 2 (suite)

| Type | Description | Unité | Symbole | Pignon | Roue |
|-------------------------------------|---|---------------|--------------|---------------------------------------|-------|
| | Flexion alternée | — | — | Non | Non |
| | Position de contact favorable | — | — | Non | Non |
| | Modification d'hélice (ISO 6336-1:2006, Tableau 8) | — | — | Aucune (N° 1) | |
| | Méthode de calcul du facteur dynamique K_v | — | — | Méthode B | |
| Application | Méthode de calcul des facteurs de distribution longitudinale de charge $K_{H\beta}$ et $K_{F\beta}$ | — | — | Méthode C | |
| | Nombre d'engrènements | — | N_M | 1 | 1 |
| | Type de corps de roue | — | — | Plein | Plein |
| | Épaisseur de voile | mm | b_s | — | — |
| | Diamètre intérieur | mm | — | — | — |
| | Nombre de voiles | — | — | — | — |
| | Architecture (ISO 6336-1:2006, Figure 13) | — | — | a | |
| | Distance entre paliers | mm | l | 125,00 | — |
| | Décalage de la distance entre paliers | mm | s | 0,00 | — |
| | Diamètre d'arbre extérieur | mm | d_{sh} | 100,00 | — |
| | Diamètre d'arbre intérieur | mm | d_{shi} | 0,00 | — |
| | Désalignement équivalent | μm | f_{sh} | Selon la Formule (57) | |
| | Désalignement d'engrènement | μm | f_{ma} | Selon la Formule (64) | |
| | Coefficient de sécurité minimal pour la formation de piqûres | — | $S_{H \min}$ | 1,00 | |
| | Coefficient de sécurité minimal pour la rupture de dent | — | $S_{F \min}$ | 1,00 | |
| Viscosité cinématique du lubrifiant | mm^2/s | ν_{40} | 320 | | |
| Charge | Couple | kNm | T_1 | 9,000 | |
| | Vitesse | r/min | n_1 | 360,0 | |
| | Durée de vie requise | h | — | 50 000 | |
| | Facteur de durée de vie pour la pression de contact, Z_{NT} , à 10^{10} cycles | — | — | 0,85 | 0,85 |
| | Facteur de durée de vie pour la contrainte en pied de dent, Y_{NT} , à 10^{10} cycles | — | — | 0,85 | 0,85 |

Tableau 3 — Valeurs de sortie pour l'exemple 1

| Symbole | Description | Unité | Pignon | Engrenage |
|-----------------|---|-------|---------|-----------|
| d | Diamètre de référence | mm | 141,34 | 856,35 |
| d_a | Diamètre de tête | mm | 159,66 | 872,35 |
| d_b | Diamètre du cercle de base | mm | 132,20 | 800,97 |
| d_f | Diamètre de pied (calculé avec x) | mm | 121,26 | 833,96 |
| d_{Ff} | Diamètre de forme de pied (calculé avec x) | mm | 132,29 | 839,46 |
| d_{Nf} | Diamètre actif de pied | mm | 132,92 | 845,23 |
| d_w | Diamètre primitif de fonctionnement | mm | 141,67 | 858,33 |
| F_t | Effort tangentiel dans le plan apparent | N | 127 352 | |
| $K_{F\alpha-B}$ | Facteur de distribution transversale de la charge (contrainte en pied de dent) | — | 1,00 | |
| $K_{F\beta-C}$ | Facteur de distribution longitudinale de la charge (contrainte en pied de dent) | — | 1,13 | |