
**Calcul de la capacité de charge au grippage
des engrenages cylindriques, coniques et
hypoïdes —**

Partie 2:

Méthode de la température intégrale

iTeh STANDARD PREVIEW

*Calculation of scuffing load capacity of cylindrical, bevel and hypoid
gears*

(standards.iteh.ai)

Part 2: Integral temperature method

ISO/TR 13989-2:2000

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9fb0c3c6-9174-4914-a393-398872f917d9/iso-tr-13989-2-2000>



PDF – Exonération de responsabilité

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

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

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

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 13989-2:2000](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9fb0c3c6-9174-4914-a393-398872f917d9/iso-tr-13989-2-2000)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9fb0c3c6-9174-4914-a393-398872f917d9/iso-tr-13989-2-2000>

© ISO 2000

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20
Tél. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 734 10 79
E-mail copyright@iso.ch
Web www.iso.ch

Imprimé en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
Introduction.....	vii
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 Domaine d'application	6
4.1 Détérioration par grippage	6
4.2 Critère de la température intégrale	7
5 Facteurs d'influence	7
5.1 Coefficient de frottement moyen μ_{mC}	7
5.2 Facteur de rodage X_E	10
5.3 Facteur thermique éclair X_M	10
5.4 Facteur d'angle de pression $X_{\alpha\beta}$	11
6 Calcul	12
6.1 Engrenages cylindriques	12
6.1.1 Coefficient de sécurité au grippage S_{intS}	12
6.1.2 Température intégrale admissible \mathcal{G}_{intP}	12
6.1.3 Température intégrale \mathcal{G}_{int}	13
6.1.4 Température-éclair en tête de dent du pignon \mathcal{G}_{flaE}	13
6.1.5 Température de masse \mathcal{G}_M	13
6.1.6 Coefficient moyen de frottement μ_{mC}	14
6.1.7 Facteur de rodage X_E	14
6.1.8 Facteur thermique éclair X_M	14
6.1.9 Facteur d'angle de pression $X_{\alpha\beta}$	14
6.1.10 Facteur géométrique en tête du pignon X_{BE}	14
6.1.11 Facteur d'approche X_Q	14
6.1.12 Facteur de dépouille de tête X_{Ca}	15
6.1.13 Facteur de rapport de conduite X_ε	17
6.2 Engrenages coniques	20
6.2.1 Coefficient de sécurité au grippage S_{intS}	20
6.2.2 Température intégrale admissible \mathcal{G}_{intP}	20
6.2.3 Température intégrale \mathcal{G}_{int}	20
6.2.4 Température-éclair en tête de dent du pignon \mathcal{G}_{flaE}	20
6.2.5 Température de masse \mathcal{G}_M	20
6.2.6 Coefficient de frottement moyen μ_{mC}	21
6.2.7 Facteur de rodage X_E	21
6.2.8 Facteur thermique éclair X_M	21
6.2.9 Facteur d'angle de pression $X_{\alpha\beta}$	21
6.2.10 Facteur géométrique en tête du pignon X_{BE}	21
6.2.11 Facteur d'approche X_Q	21
6.2.12 Facteur de dépouille de tête X_{Ca}	22

6.2.13	Facteur de rapport de conduite X_{ε}	22
6.3	Engrenages hypoides.....	22
6.3.1	Coefficient de sécurité au grippage S_{intS}	22
6.3.2	Température intégrale admissible ϑ_{intP}	22
6.3.3	Température intégrale ϑ_{int}	23
6.3.4	Température de masse ϑ_M	23
6.3.5	Coefficient de frottement moyen μ_{mC}	23
6.3.6	Facteur de rodage X_E	23
6.3.7	Facteur géométrique X_G	23
6.3.8	Facteur d'approche X_Q	25
6.3.9	Facteur de dépouille de tête X_{Ca}	25
6.3.10	Facteur de rapport de conduite X_{ε}	25
6.3.11	Calcul des engrenages gauches hélicoïdaux équivalents	25
6.4	Température intégrale de grippage.....	29
6.4.1	Température intégrale de grippage ϑ_{intS}	29
6.4.2	Facteur relatif de soudure X_{WrelT}	33
	Annexe A (informative) Exemples.....	34
	Annexe B (informative) Température de grippage en fonction de la durée de contact.....	44
	Bibliographie	48

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 13989-2:2000
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9fb0c3c6-9174-4914-a393-398872f917d9/iso-tr-13989-2-2000>

Avant-propos

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

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Exceptionnellement, un comité technique peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour toute autre raison, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique, par exemple).

Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

Les rapports techniques sont rédigés conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 3.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments de la présente partie de l'ISO TR 13989 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.

L'Amendement au Rapport technique ISO/TR 13989-2: a été élaboré par le comité technique ISO/TC 60, *Engrenages*, sous-comité SC 2, *Calcul de la capacité des engrenages*.

Le présent document est publié dans la série des Rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.3.2.2. de la partie 1 des Directives ISO/CEI, 1995) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine de [à décrire] en raison de l'urgence d'avoir une indication quant à la manière dont il convient d'utiliser les normes dans ce domaine pour répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en œuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Secrétariat central de l'ISO.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce Rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

L'ISO TR 13989 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Calcul de la capacité de charge au grippage des engrenages cylindriques, coniques et hypôïdes*:

- *Partie 1: Méthode de la température-éclair*
- *Partie 2: Méthode de la température intégrale*

Les annexes A et B de la présente partie de l'ISO/TR 13989 sont données uniquement à titre d'information.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 13989-2:2000](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9fb0c3c6-9174-4914-a393-398872f917d9/iso-tr-13989-2-2000)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9fb0c3c6-9174-4914-a393-398872f917d9/iso-tr-13989-2-2000>

Introduction

La présente partie de l'ISO/TR 13989 décrit la détérioration de surface d'engrenages cylindriques «grippage à chaud» (à denture droite et hélicoïdale), coniques et hypoïdes, pour les matériaux d'engrenages généralement utilisés combinés avec différents traitements thermiques. Le «grippage à chaud» est caractérisé par des marques de grippage et de griffures typiques qui peuvent donner lieu à une augmentation de la perte de puissance, de la charge dynamique, du bruit et de l'usure. Pour le «grippage à froid», en général associé à des engrenages à basse température et faible vitesse, tournant à des vitesses inférieures à 4 m/s environ, trempés à cœur et soumis à des charges élevées, les équations ne conviennent pas

Il s'agit là d'une forme particulièrement sévère de détérioration de la surface de la denture d'un engrenage, au cours de laquelle un arrachement ou une soudure par fusion des surfaces en contact apparaît, due à l'absence ou à la rupture du film de lubrifiant entre les flancs de dents en contact d'engrenages conjugués, due à des températures et des pressions élevées. Cette forme de détérioration est appelée «grippage»; elle est d'autant plus importante que les vitesses de surface sont élevées. Le grippage peut également apparaître à de faibles vitesses de glissement lorsque les pressions à la surface des dentures sont suffisamment élevées, soit de manière uniforme, soit dans des zones discrètes du fait d'une géométrie et d'une distribution de charge sur les flancs inégales.

Le risque de détérioration par grippage varie selon les propriétés des matériaux des dentures, le lubrifiant utilisé, la rugosité de surface des flancs de denture, les vitesses de glissement et la charge. Une aération excessive ou la présence de contaminants dans le lubrifiant, tels que des particules métalliques en suspension, augmente également le risque de détérioration par grippage. En conséquence du grippage, les engrenages à grande vitesse peuvent subir des niveaux de charge dynamique élevés du fait de l'augmentation des vibrations qui conduisent généralement à une détérioration accrue par grippage, formation de piquures ou rupture de dent.

Les températures superficielles élevées, induites par des pressions de contact et des vitesses de glissement élevées peuvent conduire à la rupture des films de lubrifiant. Sur la base de cette hypothèse, deux approches permettant de corréliser la température et la rupture du film de lubrifiant sont présentées:

- la méthode de la température-éclair (présentée dans l'ISO/TR 13989-1), basée sur les températures de contact qui varient sur la longueur de conduite;
- la méthode de la température intégrale (présentée dans la présente partie de l'ISO/TR 13989), basée sur la moyenne pondérée des températures de contact sur la longueur de conduite.

La méthode de la température intégrale est basée sur l'hypothèse que le grippage apparaît probablement lorsque la valeur moyenne de la température de contact (température intégrale) est supérieure ou égale à une valeur critique correspondante. Le risque de grippage d'une transmission par engrenages réelle peut être prédit en comparant la température intégrale à la valeur critique, issue d'essais sur engrenages de la résistance des lubrifiants au grippage. La méthode de calcul tient compte de tous les paramètres d'influence significatifs, c'est-à-dire le lubrifiant (huile minérale sans ou avec additifs EP, huile synthétique), la rugosité de surface, les vitesses de glissement, la charge, etc.

Il est admis que d'autres méthodes peuvent être nécessaires afin de s'assurer que tous les types de grippage et formes comparables de détérioration de surface dus aux interactions complexes entre phénomènes hydrodynamiques, thermodynamiques et chimiques, sont traités. Le développement de ces méthodes fait actuellement l'objet de recherches poussées.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 13989-2:2000

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9fb0c3c6-9174-4914-a393-398872f917d9/iso-tr-13989-2-2000>

Calcul de la capacité de charge au grippage des engrenages cylindriques, coniques et hypoïdes —

Partie 2: Méthode de la température intégrale

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO/TR 13989 spécifie la méthode de la température intégrale pour calculer la capacité de charge au grippage des engrenages cylindriques, coniques et hypoides.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO/TR 13989. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de l'ISO/TR 13989 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

ISO 53:1998, *Engrenages cylindriques de mécanique générale et de grosse mécanique — Tracé de référence.*

ISO 1122-1:1998, *Vocabulaire des engrenages — Partie 1: Définitions géométriques.*

ISO 1328-1:1995, *Engrenages cylindriques — Système ISO de précision — Partie 1: Définitions et valeurs admissibles des écarts pour les flancs homologues de la denture.*

ISO 6336-1:1996, *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 10300-1:—¹⁾, *Calcul de la capacité de charge des engrenages coniques — Partie 1: Introduction et facteurs généraux d'influence.*

3 Termes, définitions, symboles et unités

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO/TR 13989, les termes et définitions donnés dans l'ISO 1122-1 s'appliquent.

1) À publier.

3.2 Symboles et unités

Les symboles utilisés dans la présente partie de l'ISO/TR 13989 sont donnés dans le Tableau 1.

Tableau 1 — Symboles et unités

Symbole	Description	Unité	Référence
a	entraxe	mm	—
a_v	entraxe équivalent de l'engrenage cylindrique à denture droite équivalent	mm	ISO 10300-1
b	largeur de denture, plus petite valeur du pignon ou de la roue	mm	—
b_{eB}	largeur de denture effective pour le grippage	mm	Éq. (46)
c_v	capacité thermique spécifique par unité de volume	N/(mm ² ·K)	—
c'	raideur simple	N/(mm·µm)	ISO 6336-1
c_γ	raideur d'engrènement	N/(mm·µm)	ISO 6336-1
d	diamètre de référence	mm	—
d_{Na}	diamètre actif de tête	mm	—
d_a	diamètre de tête	mm	Éq. (69)
d_b	diamètre de base	mm	Éq. (70)
d_m	diamètre à mi-largeur de la denture	mm	—
d_s	cercle de référence d'une roue équivalente d'un engrenage gauche hélicoïdal	mm	Éq. (68)
d_v	diamètre de référence de la roue cylindrique à denture droite équivalente	mm	ISO 10300-1
d_{va}	diamètre de tête de la roue cylindrique à denture droite équivalente	mm	ISO 10300-1
d_{vb}	diamètre de base de la roue cylindrique à denture droite équivalente	mm	ISO 10300-1
$g_{an1,2}$	longueur de retraite du pignon, de la roue	mm	Éqs. (90), (91)
$g_{fn1,2}$	longueur d'approche du pignon, de la roue	mm	Éqs. (90), (91)
g^*	facteur de glissement	—	Éq. (62)
h_{am}	saillie à mi-largeur de la denture d'engrenage hypoïde	mm	—
m	module	mm	—
m_{mn}	module réel à mi-largeur de la denture d'engrenage hypoïde	mm	—
m_{sn}	module réel d'engrenage gauche hélicoïdal équivalent	mm	Éq. (73)
n_p	nombre de roues dentées en prise	—	—
p_{en}	pas de base réel	mm	Éq. (74)
u	rapport d'engrenage	—	—
u_v	rapport d'engrenage de l'engrenage cylindrique équivalent	—	ISO 10300-1

Tableau 1 — Symboles et unités (suite)

Symbole	Description	Unité	Référence
v	vitesse de la ligne de référence	m/s	—
$v_{t1,2}$	vitesse tangentielle du pignon, de la roue d'un engrenage hypoïde	m/s	Éqs. (77), (78)
$v_{g\gamma 1}$	vitesse de glissement maximale à la tête de pignon	m/s	Éq. (83)
v_{gs}	vitesse de glissement au point primitif	m/s	Éq. (82)
$v_{g1,2}$	vitesse de glissement	m/s	Éqs. (84), (85)
$v_{g\alpha 1}$	vitesse de glissement	m/s	Éq. (87)
$v_{g\beta 1}$	vitesse de glissement	m/s	Éq. (88)
v_{mt}	vitesse tangentielle au cône de référence à mi-largeur de la denture d'engrenage conique	m/s	—
$v_{\Sigma C}$	somme des vitesses tangentielles au point primitif	m/s	Éqs. (2), (47), (81)
$v_{\Sigma s}$	vitesse tangentielle	m/s	Éq. (79)
$v_{\Sigma h}$	vitesse tangentielle	m/s	Éq. (80)
w_{Bt}	charge spécifique sur les dents, grippage	N/mm	Éq. (4)
z	nombre de dents	—	—
z_v	nombre de dents de l'engrenage cylindrique équivalent	—	ISO 10300-1
B_M	coefficient de contact thermique	N/(mm·s ^{1/2} ·K)	Éq. (12)
C_1, C_2, C_{2H}	facteurs de pondération	—	—
C_a	dépouille de tête nominale	µm	—
C_{eff}	dépouille de tête effective	µm	Éqs. (37), (38), (49)
E	module d'élasticité (module de Young)	N/mm ²	—
F_{mt}	charge tangentielle nominale au cône de référence à mi-largeur de la denture	N	—
F_n	charge réelle sur les dents	N	Éq. (51)
F_t	charge tangentielle nominale au cercle de référence	N	—
K_A	facteur d'application	—	ISO 6336-1, ISO 10300-1
K_V	facteur dynamique	—	ISO 6336-1, ISO 10300-1
$K_{B\alpha}$	= $K_{H\alpha}$ facteur de distribution transversale de la charge (grippage)	—	6.2.4, ISO 6336-1, ISO 10300-1
$K_{B\beta}$	= $K_{H\beta}$ facteur de distribution longitudinale de la charge (grippage)	—	ISO 6336-1 ISO 10300-1, 6.2.4, Éqs. (52), (53)
$K_{B\gamma}$	facteur de charge hélicoïdale (grippage)	—	Éq. (5), 6.2.4, 6.3.5
$K_{B\beta be}$	facteur de portée	—	6.3.3
$K_{H\alpha}$	facteur de distribution transversale de la charge	—	ISO 6336-1, ISO 10300-1
$K_{H\beta}$	facteur de distribution longitudinale de la charge	—	ISO 6336-1, ISO 10300-1

Tableau 1 — Symboles et unités (suite)

Symbole	Description	Unité	Référence
$K_{H\beta be}$	facteur de portée	—	ISO 10300-1
L	paramètre de contact	—	Éq. (55)
R_a	rugosité moyenne arithmétique	μm	Éq. (6)
S_{intS}	coefficient de sécurité au grippage	—	Éq. (14)
S_{Smin}	coefficient de sécurité au grippage minimal exigé	—	—
T_1	couple sur le pignon	Nm	—
T_{1T}	couple de grippage sur le pignon d'essai	Nm	Éq. (96)
X_{BE}	facteur géométrique en tête de dent du pignon	—	Éq. (22)
X_E	facteur de rodage	—	Éq. (8)
X_{Ca}	facteur de dépouille de tête	—	Éq. (32)
X_G	facteur géométrique des engrenages hypoïdes	—	Éq. (54)
X_L	facteur lubrifiant	—	5.1
X_M	facteur thermique éclair	—	Éq. (9)
X_Q	facteur d'approche	—	Éqs. (25), (26), (27)
X_R	facteur de rugosité	—	Éq. (7)
X_S	facteur de lubrification	—	6.1.5.3
X_W	facteur de soudure de l'engrenage fabriqué	—	Tableau 3
X_{WT}	facteur de soudure de l'engrenage d'essai	—	6.4.2
X_{WrelT}	facteur relatif de soudure	—	Éq. (102)
X_{mp}	facteur de contact	—	Éq. (21)
$X_{\alpha\beta}$	facteur d'angle de pression	—	Éqs. (13), (48)
X_ε	facteur de rapport de conduite	—	Éqs. (39) à (44)
α	angle de pression	$^\circ$	—
α_{mn}	angle de pression réel à mi-largeur de denture pour l'engrenage hypoïde	$^\circ$	—
α_n	angle de pression réel	$^\circ$	—
α_{sn}	angle de pression réel de l'engrenage gauche hélicoïdal	$^\circ$	Éq. (64)
α_{st}	angle de pression apparent de l'engrenage gauche hélicoïdal	$^\circ$	Éq. (66)
α_t	angle de pression apparent	$^\circ$	—
α_t'	angle de pression apparent de fonctionnement	$^\circ$	—
α_{vt}	angle de pression apparent pour l'engrenage cylindrique équivalent	$^\circ$	ISO 10300-1
α_y	angle d'incidence arbitraire	$^\circ$	Figure 2

Tableau 1 — Symboles et unités (suite)

Symbole	Description	Unité	Référence
β	angle d'hélice	°	—
β_b	angle d'hélice de base	°	Éqs. (67), (71)
β_m	angle d'hélice au cône de référence à mi-largeur de la denture pour l'engrenage hypoïde	°	—
β_s	angle d'hélice pour l'engrenage gauche hélicoïdal équivalent	°	Éq. (63)
γ	angle auxiliaire	°	Éq. (86)
δ	angle du cône de référence	°	—
ε_a	rapport de retrait	—	Éqs. (28), (29)
ε_f	rapport d'approche	—	Éqs. (28), (29)
ε_h	rapport de conduite du profil réel pour l'engrenage gauche hélicoïdal équivalent	—	Éqs. (92), (93)
ε_1	rapport de conduite de saillie du pignon	—	Éq. (30)
ε_2	rapport de conduite de saillie de la roue	—	Éq. (31)
ε_α	rapport de conduite	—	Éq. (45)
$\varepsilon_{v\alpha}$	rapport de conduite apparent pour l'engrenage cylindrique équivalent	—	ISO 10300-1
ε_{v1}	rapport de conduite de tête pour le pignon cylindrique équivalent	—	ISO 10300-1
ε_{v2}	rapport de conduite de tête pour la roue cylindrique équivalente	—	ISO 10300-1
ξ	coefficient auxiliaire hertzien	—	Figure 7, Éqs. (57), (59)
μ_{mC}	coefficient de frottement moyen	—	Éqs. (1), (1a)
η_{oil}	viscosité dynamique à la température de l'huile	mPa·s	—
λ_M	conductivité thermique	N/(s·K)	—
ν	coefficient de Poisson	—	—
ν_{40}	viscosité cinématique de l'huile à 40 °C	mm ² /s; cSt	—
$\rho_{E1,2}$	rayon de courbure en tête du pignon, de la roue	mm	Éqs. (23), (24)
ρ_{Cn}	rayon de courbure équivalent au point primitif dans le plan normal	mm	Éq. (76)
$\rho_{n1,2}$	rayon de courbure au point primitif dans le plan normal	mm	Éq. (75)
ρ_{redC}	rayon de courbure équivalent au point primitif	mm	Éq. (3)
η	coefficient auxiliaire hertzien	—	Figure 7, Éqs. (58), (60)
ϑ	angle auxiliaire hertzien	°	Éqs. (56) à (60)
ϑ_{flaE}	température-éclair à la tête de dent de pignon lorsque la répartition de charge entre dents n'est pas prise en compte	K	Éq. (19)

Tableau 1 — Symboles et unités (suite)

Symbole	Description	Unité	Référence
$\vartheta_{\text{flaint}}$	température-éclair moyenne	K	Éq. (18)
$\vartheta_{\text{flainth}}$	température-éclair moyenne pour l'engrenage hypoïde	K	Éq. (50)
ϑ_{Int}	température intégrale	K	Éq. (17)
ϑ_{IntP}	température intégrale admissible	K	Éq. (16)
ϑ_{IntS}	température intégrale de grippage (température intégrale acceptable)	K	Éq. (94)
$\vartheta_{\text{flaintT}}$	température-éclair moyenne de l'engrenage d'essai	K	Éqs. (96), (99), (101)
ϑ_{oil}	température de l'huile du bain ou de l'injection	°C	—
$\vartheta_{\text{M-C}}$	température de masse	°C	Éq. (20)
ϑ_{MT}	température de masse de l'essai	°C	Éqs. (95), (98), (100)
φ	angle des axes de l'engrenage gauche hélicoïdal équivalent	°	Éq. (72)
Σ	angle des axes d'engrenage gauche hélicoïdal équivalent	°	Éq. (65)
Φ_E	degré de rodage	—	5.2
Γ	paramètre sur la ligne de conduite	—	Éq. (10)

Indices:

- 1 au pignon
- 2 à la roue
- a au diamètre de tête de l'engrenage équivalent
- b au cercle de base de l'engrenage équivalent
- m à mi-largeur de denture de l'engrenage conique ou hypoïde
- n au plan normal
- s à l'engrenage gauche hélicoïdal équivalent
- t à la direction tangentielle
- T à l'engrenage d'essai

4 Domaine d'application

Les méthodes de calcul sont fondées sur des résultats d'essai obtenus sur banc d'engrenages avec des vitesses tangentielles inférieures à 80 m/s. Les équations peuvent être utilisées pour des engrenages tournant à des vitesses plus élevées, en sachant que l'incertitude augmente en fonction de la vitesse. Cette incertitude concerne l'estimation de la température de masse, du coefficient de frottement, des températures admissibles, etc., lorsque les vitesses dépassent le domaine couvert par les retours expérimentaux.

4.1 Détérioration par grippage

Une fois initiée, la détérioration par grippage peut entraîner une dégradation globale de la surface des flancs des dents avec une augmentation: de la perte de puissance, de la charge dynamique, du bruit et de l'usure. Elle peut également donner lieu à une rupture des dents, si la sévérité des conditions de fonctionnement n'est pas réduite. En cas de grippage dû à une surcharge instantanée, immédiatement suivie d'une réduction de charge, par exemple par une redistribution de la charge, les flancs des dents peuvent «s'auto-réparer» en se rodant eux-mêmes dans

une certaine mesure. Même ainsi, la détérioration résiduelle restera une cause d'augmentation de la perte de puissance, de la charge dynamique et du bruit.

Dans la plupart des cas, la résistance des engrenages au grippage peut être améliorée au moyen d'un lubrifiant ayant des propriétés EP (extrême pression) augmentées. Il est cependant important de noter que l'utilisation des huiles EP comporte certains inconvénients — corrosion du cuivre, fragilisation des élastomères, difficulté d'approvisionnement, etc. Ces inconvénients doivent être pris en compte pour un choix optimal de l'huile, ce qui signifie: aussi peu d'additifs que possible, autant d'additifs que nécessaire.

Du fait de la variation constante des divers paramètres, la complexité des propriétés chimiques et des processus thermo-hydroélastiques dans la zone de contact instantané, on peut prévoir une certaine dispersion dans l'évaluation de la probabilité calculée du risque de grippage.

Contrairement au temps de développement de la détérioration par fatigue, qui est relativement lent, une surcharge temporaire unique peut amorcer une détérioration par grippage d'une sévérité telle que les engrenages affectés ne peuvent plus être utilisés. Il convient de tenir compte de ces considérations lors du choix du coefficient de sécurité approprié sur l'engrenage considéré, spécialement pour les engrenages qui doivent fonctionner à des vitesses tangentielles élevées.

4.2 Critère de la température intégrale

Cette approche de l'évaluation de la probabilité de grippage est basée sur l'hypothèse selon laquelle le grippage risque d'apparaître lorsque la valeur moyenne des températures de contact sur la longueur de conduite est supérieure ou égale à une «valeur critique» correspondante. Dans la méthode présentée ici, la somme de la température de masse et la moyenne pondérée des valeurs intégrées des températures-éclair sur la longueur de conduite constitue la «température intégrale». La température de masse est estimée comme décrit en 6.1.5 et une approximation de la valeur moyenne de la température-éclair est obtenue en utilisant des valeurs moyennes du coefficient de frottement, de la charge dynamique, etc., sur la longueur de conduite. Un facteur de pondération est introduit afin de tenir compte des éventuelles influences différentes d'une valeur réelle de température de masse et d'une valeur moyenne, mathématiquement intégrée, de la température-éclair sur le phénomène de grippage.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9fb0c3c6-9174-4914-a393-5988eb7d3b04/iso-tr-13989-2:2000>

La probabilité de grippage est évaluée en comparant la température intégrale à une valeur critique correspondante, résultant d'essais de lubrifiants sur des engrenages, afin de vérifier leur résistance au grippage (par exemple différentes procédures d'essai FZG, les essais d'engrenages IAE et Ryder), ou à partir d'engrenages qui ont grippé en fonctionnement.

5 Facteurs d'influence

5.1 Coefficient de frottement moyen μ_{mC}

Le coefficient **réel** de frottement entre les flancs de dent est une valeur instantanée et locale qui dépend de plusieurs propriétés de l'huile, de la rugosité de surface, de la disposition des irrégularités de surface, telles que celles laissées par l'usinage, les propriétés des matériaux de flanc de dent, des vitesses tangentielles, des forces au niveau des surfaces ainsi que des dimensions. Il est difficile d'évaluer le coefficient de frottement instantané car il n'y a pas actuellement de méthode disponible pour le quantifier par mesure.

La valeur **moyenne** du coefficient de frottement μ_{mC} sur la longueur de conduite a été déduite des mesures [1] et calculée par approximation au moyen de l'équation (1). Bien que le coefficient de frottement local soit proche de zéro au niveau du point primitif C, on peut en calculer sa valeur moyenne par approximation au moyen des paramètres déterminés au niveau du point primitif et de la viscosité de l'huile η_{oil} à la température de l'huile ϑ_{oil} lorsqu'ils sont introduits dans l'équation (1).