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

Partie 1:

Introduction et principes fondamentaux

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

*Calculation of micropitting load capacity of cylindrical spur and
helical gears —*

Part 1: Introduction and basic principles

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7153c09d-0ada-44bf-a6f1-e538402986fc/iso-tr-15144-1-2014>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 15144-1:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7153c09d-0ada-44bf-a6f1-e538402986fc/iso-tr-15144-1-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7153c09d-0ada-44bf-a6f1-e538402986fc/iso-tr-15144-1-2014>



COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT

© ISO 2014

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized otherwise in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, or posting on the internet or an intranet, without prior written permission. Permission can be requested from either ISO at the address below or ISO's member body in the country of the requester.

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

Published in Switzerland

Contents

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 Définition des micropiqûres	4
5 Formules de base	5
5.1 Généralités.....	5
5.2 Coefficient de sécurité contre la formation de micropiqûres, S_λ	6
5.3 Épaisseur spécifique locale du film lubrifiant, λ_{GFY}	6
5.4 Épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant, λ_{GFP}	7
5.5 Recommandation concernant le coefficient de sécurité minimal contre la formation de micropiqûres, $S_{\lambda,min}$	8
6 Paramètre matériau, G_M	9
6.1 Module d'élasticité réduit, E_r	9
6.2 Coefficient de piezoviscosité à la température de masse, $\alpha_{\theta M}$	9
7 Paramètre de vitesse local, U_Y	10
7.1 Somme des vitesses tangentielles au point, $v_{\Sigma,Y}$	10
7.2 Viscosité dynamique à la température de masse, $\eta_{\theta M}$	11
8 Paramètre de charge local, W_Y	12
8.1 Pression de contact hertzienne locale $p_{dyn,Y,A}$ selon la Méthode A.....	12
8.2 Pression de contact hertzienne locale $p_{dyn,Y,B}$ selon la Méthode B.....	13
9 Paramètre de glissement local, S_{GFY}	14
9.1 Coefficient de piezoviscosité à la température locale de contact $\alpha_{\theta B,Y}$	14
9.2 Viscosité dynamique à la température locale de contact $\eta_{\theta B,Y}$	14
10 Définition du point de contact Y sur la ligne de conduite	15
11 Facteur de répartition de charge, X_Y	17
11.1 Engrenages à denture droite à profils non corrigés.....	18
11.2 Engrenages à denture droite à profils corrigés.....	19
11.3 Facteur de contrefort, $X_{but,Y}$	21
11.4 Engrenages à denture hélicoïdale avec $\varepsilon_\beta < 1$ et à profils non corrigés.....	21
11.5 Engrenages à denture hélicoïdale avec $\varepsilon_\beta < 1$ et à profils corrigés.....	22
11.6 Engrenages à denture hélicoïdale avec $\varepsilon_\beta \geq 1$ et à profils non corrigés.....	23
11.7 Engrenages à denture hélicoïdale avec $\varepsilon_\beta \geq 1$ et à profils corrigés.....	23
12 Température de contact, $\theta_{B,Y}$	25
13 Température-éclair, $\theta_{fl,Y}$	26
14 Température de masse, θ_M	26
14.1 Coefficient de frottement moyen, μ_m	27
14.2 Facteur de pertes de charge, H_v	29
14.3 Facteur de dépouille de tête, X_{Ca}	29
14.4 Facteur de lubrification, X_S	31
Annexe A (informative) Calcul de l'épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant λ_{GFP} pour les huiles ayant un résultat d'essai aux micropiqûres conforme à la Fiche d'information FVA n° 54/7	32
Bibliographie	34

Avant-propos

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

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

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

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

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

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 deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO/TR 15144-1:2010), qui a fait l'objet d'une révision technique.

L'ISO/TR 15144 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Calcul de la capacité de charge aux micropièces des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale*:

- *Partie 1: Introduction et principes fondamentaux*
- *Partie 2: Exemples de calculs de micropièces*

Introduction

La présente partie de l'ISO/TR 15144 définit les principes de calcul de la résistance aux micropiqûres des engrenages cylindriques à dentures extérieures droite et hélicoïdale à profil en développante de cercle.

Le modèle de calcul de l'épaisseur spécifique minimale du film lubrifiant en fonctionnement dans la zone de contact constitue la base pour le calcul de la capacité de charge aux micropiqûres d'un train d'engrenages. Il existe de nombreux paramètres d'influence, tels que la topographie de surface, le niveau de pression de contact et les composants chimiques du lubrifiant. Bien que l'influence de ces paramètres sur les performances aux micropiqûres d'un train d'engrenages soit connue, les études se poursuivent dans ce domaine et la science n'est pas encore parvenue à inclure directement ces paramètres spécifiques dans les méthodes de calcul. Par ailleurs, il s'avère que l'application correcte des dépouilles de tête et de pied (correction de profil en développante de cercle) a une grande influence sur la formation des micropiqûres et qu'il convient donc d'appliquer des valeurs appropriées. L'état de surface constitue un autre paramètre essentiel. R_a est actuellement utilisé, mais on a constaté que d'autres aspects, tels que R_z ou le vrillage, avaient des effets considérables susceptibles de se manifester selon le procédé de finition de denture utilisé.

Bien que le calcul de l'épaisseur spécifique du film lubrifiant ne fournisse pas une méthode directe d'évaluation de la résistance aux micropiqûres, il peut néanmoins fournir des critères d'évaluation lorsqu'il est appliqué en tant que tel dans une procédure comparative appropriée basée sur des performances connues des engrenages.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TR 15144-1:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7153c09d-0ada-44bf-a6f1-e538402986fc/iso-tr-15144-1-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7153c09d-0ada-44bf-a6f1-e538402986fc/iso-tr-15144-1-2014>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 15144-1:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7153c09d-0ada-44bf-a6f1-e538402986fc/iso-tr-15144-1-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7153c09d-0ada-44bf-a6f1-e538402986fc/iso-tr-15144-1-2014>

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

Partie 1: Introduction et principes fondamentaux

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO/TR 15144 décrit une procédure de calcul de la résistance aux micropiqûres des engrenages cylindriques à denture extérieure. Elle a été élaborée sur la base d'essais et d'observations réalisés sur des transmissions par engrenages lubrifiés à l'huile ayant des modules compris entre 3 mm et 11 mm et des vitesses tangentielles primitives de fonctionnement comprises entre 8 m/s et 60 m/s. Cependant, la procédure peut être appliquée à toute paire d'engrenages ayant des données de référence convenables, à condition que les critères spécifiés ci-dessous soient satisfaits.

Les formules spécifiées sont applicables aux engrenages cylindriques menants ainsi qu'aux engrenages cylindriques menés avec des profils de denture conformes à la crémaillère de référence spécifiée dans l'ISO 53. Elles sont également applicables à des dentures conjuguées à d'autres crémaillères de référence lorsque le rapport de conduite équivalent est inférieur à $\varepsilon_{\text{an}} = 2,5$. Les résultats concordent bien avec d'autres méthodes pour des angles de pression normaux jusqu'à 25°, pour des angles d'hélice de référence jusqu'à 25° et dans les cas où la vitesse tangentielle primitive de fonctionnement est supérieure à 2 m/s.

La présente partie de l'ISO/TR 15144 n'est pas applicable à l'évaluation de types d'endommagement de surface de dentures d'engrenages autres que les micropiqûres.

2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de manière normative dans le présent document et sont indispensables à son application. 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 1122-1, *Vocabulaire des engrenages — Partie 1: Définitions géométriques*

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 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)*

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, l'ISO 6336-1, et l'ISO 6336-2 s'appliquent.

3.2 Symboles et unités

Les symboles utilisés dans la présente partie de l'ISO/TR 15144 sont donnés dans le [Tableau 1](#). Les unités de longueur mètre, millimètre et micromètre sont choisies conformément à l'usage en la matière. Les conversions des unités sont déjà comprises dans les équations données.

Tableau 1 — Symboles et unités

Symbole	Description	Unité
a	entraxe	mm
B_{M1}	coefficient de contact thermique du pignon	$N/(m \cdot s^{0,5} \cdot K)$
B_{M2}	coefficient de contact thermique de la roue	$N/(m \cdot s^{0,5} \cdot K)$
b	largeur de denture	mm
C_{a1}	dépouille de tête du pignon	μm
C_{a2}	dépouille de tête de la roue	μm
C_{eff}	dépouille de tête effective	μm
c_{M1}	chaleur spécifique par unité de masse du pignon	$J/(kg \cdot K)$
c_{M2}	chaleur spécifique par unité de masse de la roue	$J/(kg \cdot K)$
c'	rigidité maximale par unité de largeur de denture (rigidité simple) d'une paire de dents	$N/(mm \cdot \mu m)$
$cc_{\gamma\alpha}$	valeur moyenne de la rigidité d'engrènement par unité de largeur de denture	$N/(mm \cdot \mu m)$
d_{a1}	diamètre de tête du pignon	mm
d_{a2}	diamètre de tête de la roue	mm
d_{b1}	diamètre de base du pignon	mm
d_{b2}	diamètre de base de la roue	mm
d_{w1}	diamètre primitif de fonctionnement du pignon	mm
d_{w2}	diamètre primitif de fonctionnement de la roue	mm
d_{Y1}	diamètre du cercle Y du pignon	mm
d_{Y2}	diamètre du cercle Y de la roue	mm
E_r	module d'élasticité réduit	N/mm^2
E_1	module d'élasticité du pignon	N/mm^2
E_2	module d'élasticité de la roue	N/mm^2
F_{bt}	force nominale apparente dans le plan d'action (plan tangent aux cylindres de base)	N
F_t	force tangentielle (nominale) sur le cylindre de référence par engrènement	N
G_M	paramètre de matériau	—
g_Y	paramètre sur la ligne de conduite (distance du point Y au point A)	mm
g_α	longueur de la ligne de conduite	mm
H_v	facteur de pertes de charge	—
h_Y	épaisseur locale du film lubrifiant	μm
K_A	facteur d'application	—
$K_{H\alpha}$	facteur de distribution transversale de la charge	—
$K_{H\beta}$	facteur de distribution longitudinale de la charge	—
K_v	facteur dynamique	—
n_1	vitesse de rotation du pignon	min^{-1}
P	puissance transmise	kW

Tableau 1 (continued)

Symbole	Description	Unité
p_{et}	pas de base apparent sur la ligne de conduite	mm
$p_{dyn,Y}$	pression de contact hertzienne locale comprenant les facteurs de charge K	N/mm ²
$p_{H,Y}$	pression de contact hertzienne nominale locale	N/mm ²
R_a	rugosité arithmétique moyenne effective	μm
R_{a1}	rugosité arithmétique moyenne du pignon	μm
R_{a2}	rugosité arithmétique moyenne de la roue	μm
$S_{GF,Y}$	paramètre de glissement local	—
S_λ	coefficient de sécurité contre la formation de micropiqûres	—
$S_{\lambda,min}$	coefficient de sécurité minimum requis contre la formation de micropiqûres	—
T_1	couple nominal sur le pignon	Nm
U_Y	paramètre de vitesse local	—
u	rapport d'engrenage	—
$v_{g,Y}$	vitesse de glissement locale	m/s
VI	index de viscosité	—
$v_{r1,Y}$	vitesse tangentielle locale sur le pignon	m/s
$v_{r2,Y}$	vitesse tangentielle locale sur la roue	m/s
$v_{\Sigma,C}$	somme des vitesses tangentielles au point primitif	m/s
$v_{\Sigma,Y}$	somme des vitesses tangentielles au point Y	m/s
W_W	facteur matériau	—
W_Y	paramètre de charge local	—
$X_{but,Y}$	facteur de contrefort local	—
X_{Ca}	facteur de dépouille de tête	—
X_L	facteur lubrifiant	—
X_R	facteur de rugosité	—
X_S	facteur de lubrification	—
X_Y	facteur de répartition de charge locale	—
Z_E	facteur d'élasticité	(N/mm ²) ^{0,5}
z_1	nombre de dents du pignon	—
z_2	nombre de dents de la roue	—
α_t	angle de pression apparent	°
α_{wt}	angle de pression apparent sur le cylindre primitif de fonctionnement	°
$\alpha_{\theta B,Y}$	coefficient de piezoviscosité à la température locale de contact	m ² /N
$\alpha_{\theta M}$	coefficient de piezoviscosité à la température de masse	m ² /N
α_{38}	coefficient de piezoviscosité à 38 °C	m ² /N
β_b	angle d'hélice de base	°
ϵ_{max}	rapport de conduite de saillie maximal	—
ϵ_α	rapport de conduite apparent	—
$\epsilon_{\alpha n}$	rapport de conduite équivalent, rapport de conduite apparent de l'engrenage équivalent à denture droite	—
ϵ_β	rapport de recouvrement	—
ϵ_γ	rapport de conduite total	—

Tableau 1 (continued)

Symbole	Description	Unité
ε_1	rapport de conduite de saillie du pignon	—
ε_2	rapport de conduite de saillie de la roue	—
$\eta_{\theta B,Y}$	viscosité dynamique à la température locale de contact	N·s/m ²
$\eta_{\theta M}$	viscosité dynamique à la température de masse	N·s/m ²
$\eta_{\theta oil}$	viscosité dynamique à la température d'huile en entrée/au bain	N·s/m ²
η_{38}	viscosité dynamique à 38 °C	N·s/m ²
$\theta_{B,Y}$	température locale de contact	°C
$\theta_{fl,Y}$	température-éclair locale	°C
θ_M	température de masse	°C
θ_{oil}	température d'huile en entrée/au bain	°C
$\lambda_{GF,min}$	épaisseur spécifique minimale du film lubrifiant dans la zone de contact	—
$\lambda_{GF,Y}$	épaisseur spécifique locale du film lubrifiant	—
λ_{GFP}	épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant	—
λ_{GFT}	épaisseur spécifique limite du film lubrifiant de l'engrenage d'essai	—
λ_{M1}	conductivité thermique spécifique du pignon	W/(m·K)
λ_{M2}	conductivité thermique spécifique de la roue	W/(m·K)
μ_m	coefficient de frottement moyen	—
$\nu_{\theta B,Y}$	viscosité cinématique à la température locale de contact	mm ² /s
$\nu_{\theta M}$	viscosité cinématique à la température de masse	mm ² /s
ν_1	coefficient de Poisson du pignon	—
ν_2	coefficient de Poisson de la roue	—
ν_{100}	viscosité cinématique à 100 °C	mm ² /s
ν_{40}	viscosité cinématique à 40 °C	mm ² /s
ρ_{M1}	densité du pignon	kg/m ³
ρ_{M2}	densité de la roue	kg/m ³
$\rho_{n,C}$	rayon de courbure équivalent normal au diamètre primitif	mm
$\rho_{n,Y}$	rayon de courbure équivalent normal au point Y	mm
$\rho_{t,Y}$	rayon de courbure équivalent apparent au point Y	mm
$\rho_{t1,Y}$	rayon de courbure apparent du pignon au point Y	mm
$\rho_{t2,Y}$	rayon de courbure apparent de la roue au point Y	mm
$\rho_{\theta B,Y}$	densité du lubrifiant à la température locale de contact	kg/m ³
$\rho_{\theta M}$	densité du lubrifiant à la température de masse	kg/m ³
ρ_{15}	densité du lubrifiant à 15 °C	kg/m ³
Indices des symboles		
Y	paramètre pour tout point de contact Y dans la zone de contact pour la méthode A et sur la ligne d'action pour la méthode B; (tous les paramètres indicés Y doivent être calculés avec des valeurs locales)	

4 Définition des micropiqûres

L'apparition de micropiqûres est un phénomène qui se produit lors d'un contact de type hertzien en présence de roulement et de glissement dans des régimes de lubrification élastohydrodynamique ou limite. La formation de micropiqûres est influencée par les conditions de fonctionnement telles

que charge, vitesse, glissement, température, topographie des surfaces, épaisseur spécifique du film lubrifiant et composition chimique du lubrifiant. Les micropiqûres sont plus couramment observées sur des matériaux ayant une dureté superficielle élevée.

Ce phénomène se traduit par la formation de nombreuses fissures superficielles. Les fissures se propagent à une légère angulosité par rapport à la surface, formant ainsi des micropiqûres. Les micropiqûres sont petites par rapport à la dimension de la zone de contact, en général de l'ordre de 10 μm à 20 μm de profondeur. Les micropiqûres peuvent fusionner pour produire une surface fissurée continue ayant l'aspect d'une surface terne et matte lors d'un examen visuel sans grossissement.

«Micropiqûres (micropitting)» est le terme préféré pour désigner ce phénomène, mais il peut aussi être désigné par décoloration grise, petite tâche grise, dépolissage et pelade. Des exemples de micropiqûres sont peuvent être trouvés dans l'ISO 10825.

La formation de micropiqûres peut s'interrompre. Toutefois, si elle continue de progresser, cela peut entraîner une réduction de l'exactitude de la denture des engrenages ainsi qu'une augmentation des charges dynamiques et du bruit. Si le phénomène ne cesse pas et continue de se propager, cela peut entraîner la formation de macropiqûres ainsi que d'autres modes de défaillance de dentures.

5 Formules de base

5.1 Généralités

Le calcul de la résistance aux micropiqûres est basé sur l'épaisseur spécifique locale $\lambda_{GF,Y}$ du film lubrifiant dans la zone de contact et sur l'épaisseur spécifique admissible λ_{GFP} ^[10] du film lubrifiant. On suppose que la formation de micropiqûres peut avoir lieu lorsque l'épaisseur spécifique minimale $\lambda_{GF,min}$ du film lubrifiant est inférieure à une valeur critique correspondante λ_{GFP} . Les deux valeurs $\lambda_{GF,min}$ et λ_{GFP} doivent être calculées séparément pour le pignon et la roue dans la zone de contact. On doit admettre que la détermination de l'épaisseur spécifique minimale du film lubrifiant et l'épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant doivent être basées sur les paramètres de fonctionnement.

La résistance aux micropiqûres peut être déterminée en comparant l'épaisseur spécifique minimale du film lubrifiant avec la valeur limite correspondante déduite à partir d'engrenages en service ou d'essais d'engrenages spécifiques. Cette comparaison sera exprimée par le coefficient de sécurité S_λ qui doit être égal ou supérieur à un coefficient de sécurité minimal $S_{\lambda,\mu V}$ contre la formation de micropiqûres.

La formation de micropiqûres se produit principalement dans des zones de glissement spécifique négatif. Le glissement spécifique négatif doit se situer le long de la ligne de conduite (voir [Figure 1](#)) entre les points A et C sur la roue menante et entre les points C et E sur la roue menée. En tenant compte des influences du lubrifiant, de la rugosité de surface, de la géométrie des engrenages et des conditions de fonctionnement, l'épaisseur spécifique du film lubrifiant $\lambda_{GF,Y}$ peut être calculée pour chaque point dans la zone de contact.

5.2 Coefficient de sécurité contre la formation de micropiqûres, S_λ

Pour représenter la résistance aux micropiqûres, le coefficient de sécurité S_λ est défini selon la Formule (1).

$$S_\lambda = \frac{\lambda_{GF, \min}}{\lambda_{GFP}} \geq S_{\lambda, \min} \quad (1)$$

où

$\lambda_{GF, \min} = \min(\lambda_{GF, Y})$ est l'épaisseur spécifique minimale du film lubrifiant dans la zone de contact;

$\lambda_{GF, Y}$ est l'épaisseur spécifique locale du film lubrifiant (voir 5.3);

λ_{GFP} est l'épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant (voir 5.4);

$S_{\lambda, \min}$ est le coefficient de sécurité minimal requis (voir 5.5).

L'épaisseur spécifique minimale du film lubrifiant est déterminée à partir de toutes les valeurs locales calculées de l'épaisseur spécifique du film lubrifiant $\lambda_{GF, Y}$ obtenue à partir de la Formule (2).

5.3 Epaisseur spécifique locale du film lubrifiant, $\lambda_{GF, Y}$

Pour la détermination du coefficient de sécurité S_λ , l'épaisseur locale du film lubrifiant h_Y selon Dowson/Higginson[5] dans la zone de contact doit être connue et comparée avec la rugosité de surface effective.

$$\lambda_{GF, Y} = \frac{h_Y}{Ra} \quad (2)$$

où

$$Ra = 0,5 \cdot (Ra_1 + Ra_2) \quad (3)$$

$$h_Y = 1600 \cdot \rho_{n, Y} \cdot G_M^{0,6} \cdot U_Y^{0,7} \cdot W_Y^{-0,13} \cdot S_{GF, Y}^{0,22} \quad (4)$$

Ra est la valeur de la rugosité arithmétique moyenne effective;

Ra_1 est la rugosité arithmétique moyenne du pignon (comparer avec l'ISO 6336-2);

Ra_2 est la rugosité arithmétique moyenne de la roue (comparer avec l'ISO 6336-2);

h_Y est l'épaisseur locale du film lubrifiant;

$\rho_{n, Y}$ est le rayon de courbure équivalent normal au point Y (voir Article 10);

G_M est le paramètre de matériau (voir Article 6);

U_Y est le paramètre de vitesse local (voir Article 7);

W_Y est le paramètre de charge local (voir Article 8);

$S_{GF, Y}$ est le paramètre local de glissement (voir Article 9).

Dans le cas de la Methode B, il convient d'appliquer la Formule (4) pour les sept points locaux (Y) définis en 5.3 b) en utilisant les valeurs pour $\rho_{n, Y}$, U_Y , W_Y , et $S_{GF, Y}$ qui existent en chaque point Y. La valeur minimale parmi les sept valeurs h_Y ($\lambda_{GF, Y}$) doit être utilisée dans la Formule (1).

Des exemples de calcul sont présentés dans l'ISO/TR 15144-2.

a) **Méthode A**

L'épaisseur spécifique locale du film lubrifiant peut être déterminée dans l'ensemble de la zone de contact à l'aide d'un programme de calcul approprié des engrenages. Afin de déterminer l'épaisseur spécifique locale du film lubrifiant, la distribution de la charge, l'influence de la vitesse normale et du glissement en fonction des changements de phase d'engrènement et les conditions réelles de fonctionnement doivent être prises en compte.

b) **Méthode B**

Cette méthode implique l'hypothèse selon laquelle l'épaisseur spécifique locale déterminante du film lubrifiant se situe sur le flanc de la dent dans la zone de glissement négatif. Pour des raisons de simplification, le calcul de l'épaisseur spécifique locale du film lubrifiant est limité à certains points sur la ligne d'action. Pour cela, le point le plus bas A et le point le plus haut E sur la ligne de conduite, le point le plus bas B et le point le plus haut D de contact unique d'une paire de dents, le point médian AB entre A et B, le point médian DE entre D et E ainsi que le point primitif C sont étudiés. De plus, pour le calcul, deux cas sont différenciés: cas 1 – pas de modification de profil, cas 2: modification de profil adéquate selon l'expérience du fabricant. En cas de modification de profil, inférieur à la modification de profil adéquate, le cas 1 doit être utilisé. En cas de modifications de profil trop fortes, il est recommandé d'utiliser la Méthode A.

5.4 Epaisseur spécifique admissible du film lubrifiant, λ_{GFP}

Pour la détermination de l'épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant λ_{GFP} , différentes procédures sont applicables.

a) **Méthode A**

Pour la Méthode A, des études expérimentales ou l'expérience pratique concernant la formation de micropiqûres sur des engrenages réels sont utilisées.

Le fait de faire fonctionner des engrenages réels dans des conditions où la formation de micropiqûres vient juste de se produire permet de calculer l'épaisseur spécifique minimale du film lubrifiant conformément à 5.3 a). Cette valeur est équivalente à l'épaisseur spécifique limite du film lubrifiant utilisée pour calculer la capacité de charge aux micropiqûres.

De telles études expérimentales peuvent être réalisées sur des engrenages ayant la même conception que la paire d'engrenages réels. Dans ce cas, la fabrication des engrenages, leur précision, les conditions de fonctionnement, le lubrifiant et la température de fonctionnement doivent être appropriés vis-à-vis du système réel de transmission de puissance par engrenages.

Le coût de cette méthode ne se justifie généralement que pour le développement de nouveaux produits ou pour des systèmes de transmission par engrenages dont la défaillance aurait de graves conséquences.

Autrement, l'épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant λ_{GFP} peut être issue de la prise en considération des dimensions, des conditions de service et de la performance des engrenages de référence contrôlés en essai avec le plus grand soin et utilisés avec leur lubrifiant respectif. Plus les dimensions et les conditions de service des engrenages réels ressemblent étroitement à celles des engrenages de référence, plus l'application de ces valeurs sera efficace pour l'évaluation en conception ou en vérification de leur capacité de charge.

b) **Méthode B**

La méthode adoptée est validée en réalisant avec beaucoup de soin des études comparatives des suivis bien documentés d'un grand nombre d'engrenages d'essai applicables au type, à la qualité et à la fabrication des engrenages étudiés. L'épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant λ_{GFP} est calculée à partir de l'épaisseur spécifique critique du film lubrifiant λ_{GFT} obtenue selon toute méthode d'essai normalisée applicable pour évaluer la résistance aux micropiqûres de lubrifiants ou de matériaux au moyen d'engrenages d'essai mis en service dans des conditions d'essai spécifiées. L'épaisseur spécifique