



Rapport technique

ISO/TR 23509-2

Géométrie des engrenages coniques et hypoïdes —

Partie 2: Exemples de calcul

*Bevel and hypoid gear geometry —
Part 2: Sample calculations*

**Première édition
2026-08**

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2026

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et termes abrégés	1
5 Application	5
Annexe A (informative) Exemple 1: Calcul de la géométrie pour un engrenage spiroconique sans décalage hypoïde selon l'ISO 23509-1:2025, Méthode 0	8
Annexe B (informative) Exemple 2: Capacité de charge d'un train d'engrenages hypoïdes selon l'ISO 23509-1:2025, Méthode 1	23
Annexe C (informative) Exemple 3: Capacité de charge d'un train d'engrenages hypoïdes selon l'ISO 23509-1:2025, Méthode 2	43
Annexe D (informative) Exemple 4: Capacité de charge d'un train d'engrenages hypoïdes selon l'ISO 23509-1:2025, Méthode 3	65
Annexe E (informative) Exemple 5: Capacité de charge d'un train d'engrenages hypoïdes avec modification d'angle et angle des axes de 60° selon l'ISO 23509-1:2025, Méthode 3	83
Annexe F (informative) Exemple 6: Calcul de la géométrie pour un engrenage conique droit sans décalage hypoïde selon l'ISO 23509-1:2025, Méthode 0	101
Bibliographie	115

get full document from standards.iteh.ai

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique. Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de brevet.

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 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 www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html.

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

Une liste de toutes les parties de la série ISO 23509 se trouve sur le site web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Introduction

Pendant plusieurs décennies, les informations relatives à la géométrie des engrenages coniques, et plus particulièrement des engrenages hypoïdes, ont été collectées et publiées par les constructeurs de machines à tailler les engrenages. Il est clair que les formules spécifiques à leur géométrie respective ont été établies pour les méthodes de génération mécanique des machines et outils propres aux constructeurs. Dans de nombreux cas, ces formules ne peuvent être utilisées pour tous les types d'engrenage conique. Cette situation a évolué grâce à l'introduction des machines à commande numérique (CNC) universelles, multiaxes, qui en principe sont capables de produire tous les types d'engrenage. En conséquence, les constructeurs ont dû fournir des programmes CNC adaptés à la géométrie des différentes méthodes de génération d'engrenage conique présentes sur leurs machines.

Le présent document intègre, dans un ensemble complet de formules, les engrenages coniques droits ainsi que les trois principales méthodes de conception des engrenages spiroconiques. Seuls quelques aspects particuliers nécessiteront l'application de formules propres à chaque méthode. La structure des formules permet leur programmation directe, ce qui donne la possibilité à l'utilisateur de comparer les différentes conceptions.

Les formules des trois méthodes sont élaborées pour le cas général des engrenages hypoïdes et le calcul associé au cas particulier des engrenages spiroconiques s'effectue en définissant un décalage hypoïde égal à zéro. Par ailleurs, les géométries sont telles que chaque paire de roues dentées est constituée d'une roue générée ou non sans décalage et d'un pignon généré et associé au décalage hypoïde total.

Le présent document a été élaboré avec des exemples de calculs pour différentes conceptions d'engrenages coniques. Ils sont destinés aux utilisateurs de la série ISO 23509, pour suivre un mode opératoire de calcul complet, formule par formule. L'expérience pratique a montré que cette manière d'aborder un sujet complexe est très utile.

D'autre part, le présent document n'est pas destiné à être utilisé par l'ingénieur moyen. Il s'adresse plutôt à des ingénieurs expérimentés capables de sélectionner, pour chacun des paramètres et des facteurs employés dans les formules, des valeurs raisonnables sur la base de leurs connaissances en matière de conception d'engrenages similaires et conscients des effets de ces formules.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Géométrie des engrenages coniques et hypoïdes —

Partie 2: Exemples de calcul

1 Domaine d'application

Le présent document fournit des exemples de calculs pour différentes conceptions d'engrenages coniques, expliquant comment la géométrie est déterminée numériquement selon les méthodes et les formules de l'ISO 23509-1:2025.

Le terme «engrenage conique» est utilisé pour désigner les engrenages coniques droits, hélicoïdaux (lignes de flancs obliques), spiroconiques, coniques Zerol et hypoïdes. Lorsque le présent document ne fait référence qu'à certains de ces types d'engrenage, les formes spécifiques sont alors identifiées.

Il n'est pas prévu que le procédé d'usinage de la forme de denture souhaitée implique un procédé spécifique. Il est, au contraire, de nature générale et applicable à toutes les méthodes de fabrication.

La géométrie pour le calcul des facteurs utilisés pour la capacité de charge des engrenages coniques, tel que spécifié dans les références [1], [2] et [3], est également incluse.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils 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 23509-1:2025, *Géométrie des engrenages coniques et hypoïdes — Partie 1: Méthodes de base*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 1122-1, l'ISO 23509-1:2025 ainsi que les suivants, 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 <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

4 Symboles et termes abrégés

Pour les besoins du présent document, les symboles et les unités donnés dans le [Tableau 1](#) et le [Tableau 2](#) s'appliquent.

Tableau 1 — Symboles et unités utilisés dans le présent document

Symboles	Description ou terme	Unités
A	variable intermédiaire	-
a	décalage hypoïde	mm
b_1, b_2	largeur de denture	mm
b_{e1}, b_{e2}	largeur de denture du point de calcul vers l'extérieur	mm
b_{i1}, b_{i2}	largeur de denture du point de calcul vers l'intérieur	mm
c_1, c_2	vide à fond de dent	mm
c_{be2}	facteur de largeur de denture	-
c_{ham}	facteur de saillie de la roue moyen	-
d_{ae1}, d_{ae2}	diamètre extérieur	mm
d_{ai1}, d_{ai2}	diamètre de tête intérieur	mm
d_{e1}, d_{e2}	diamètre primitif de fonctionnement extérieur	mm
d_{fe1}, d_{fe2}	diamètre de pied extérieur	mm
d_{fi1}, d_{fi2}	diamètre de pied intérieur	mm
d_{m1}, d_{m2}	diamètre primitif de fonctionnement moyen	mm
F_{ax}	axial force	N
F_{mt1}, F_{mt2}	force tangentielle au niveau du diamètre moyen	N
F_{rad}	force radiale	N
f_{alim}	facteur d'influence de l'angle de pression limite	-
h_{ae1}, h_{ae2}	saillie extérieure	mm
h_{ai1}, h_{ai2}	saillie intérieure	mm
h_{am1}, h_{am2}	saillie moyenne	mm
h_{amc1}, h_{amc2}	saillie moyenne à la corde	mm
h_{e1}, h_{e2}	hauteur de dent extérieure	mm
h_{fe1}, h_{fe2}	creux extérieur	mm
h_{fi1}, h_{fi2}	creux intérieur	mm
h_{fm1}, h_{fm2}	creux moyen	mm
$h_{i1,2}$	hauteur de dent intérieure	mm
h_m	hauteur de dent moyenne	mm
h_{mw}	hauteur utile moyenne	mm
h_{t1}	hauteur de dent total du pignon	mm
j_{en}	jeu de battement normal extérieur	mm
j_{et}	jeu de battement apparent extérieur	mm
j_{mn}	jeu de battement normal moyen	mm
j_{mt}	jeu de battement apparent moyen	mm
K_{M1}, K_{M2}, K_{M3}	approximation du facteur de dimension hypoïde (l'indice indique la méthode utilisée)	-
k_c	facteur de vide à fond de dent	-
k_d	facteur de hauteur de dent	-
k_{hap}	facteur de saillie de la roue plate virtuelle de référence (par rapport à m_{mn})	-
k_{hfp}	facteur de creux de la roue plate virtuelle de référence (par rapport à m_{mn})	-
k_t	facteur d'épaisseur de dent apparente	-
m_{et}	module apparent extérieur	mm
m_{mn}	module normal moyen	mm
n_1	vitesse du pignon	min ⁻¹

Tableau 1 (suite)

Symboles	Description ou terme	Unités
P	puissance	kW
q_k	modification d'angle	°
R_{e1}, R_{e2}	génératrice extérieure du cône primitif de fonctionnement	mm
R_{i1}, R_{i2}	génératrice intérieure du cône primitif de fonctionnement	mm
R_{m1}, R_{m2}	génératrice moyenne du cône primitif de fonctionnement	mm
r_{c0}	rayon de l'outil	mm
s_{mn1}, s_{mn2}	épaisseur de dent circulaire normale moyenne	mm
s_{mnc1}, s_{mnc2}	épaisseur de dent normale moyenne à la corde	mm
s_{mt1}, s_{mt2}	épaisseur de dent circulaire apparente moyenne	mm
T_1	couple du pignon	Nm
t_{xi1}, t_{xi2}	distance du point intérieur du cône de tête au sommet du cône au point d'intersection	mm
t_{xo1}, t_{xo2}	distance du point extérieur du cône de tête au sommet du cône au point d'intersection	mm
t_{z1}, t_{z2}	sommet primitif de fonctionnement au-delà du point d'intersection	mm
t_{zF1}, t_{zF2}	sommet du cône de tête au-delà du point d'intersection	mm
t_{zm1}, t_{zm2}	distance entre le point d'intersection et un point moyen le long de l'axe	mm
t_{zR1}, t_{zR2}	sommet du cône de pied au-delà du point d'intersection	mm
u	rapport d'engrenage	-
u_a	rapport équivalent	-
W_{m2}	largeur de rainure moyenne de la roue	mm
x_{hm1}	coefficient de déport	-
x_{sm1}, x_{sm2}	coefficient de modification de l'épaisseur de dent (jeu de battement inclus)	-
x_{smn}	coefficient de modification de l'épaisseur de dent (théorique)	-
z_0	nombre de groupes de lames	-
z_1, z_2	nombre de dents	-
z_p	nombre de dents de la roue plate virtuelle	-
α_{dC}	angle de pression nominal de conception flanc convexe pignon en prise	°
α_{dD}	angle de pression nominal de conception flanc concave pignon en prise	°
α_{eC}	angle de pression effectif flanc convexe pignon en prise	°
α_{eD}	angle de pression effectif flanc concave pignon en prise	°
α_{nC}	angle de pression normal généré flanc convexe pignon en prise	°
α_{nD}	angle de pression normal généré flanc concave pignon en prise	°
α_{lim}	angle de pression limite	°
β_{e1}, β_{e2}	angle de spirale extérieur	°
β_{i1}, β_{i2}	angle de spirale intérieur	°
β_{m1}, β_{m2}	angle de spirale moyen	°
Δb_{x1}	incrément de largeur de denture du pignon	mm
Δg_{xe}	incrément le long de l'axe du pignon à partir du point de calcul vers l'extérieur	mm
Δg_{xi}	incrément le long de l'axe du pignon à partir du point de calcul vers l'intérieur	mm
ΔK	incrément du facteur de dimension hypoïde	-
$\Delta \Sigma$	écart de l'angle des axes à partir de 90°	°
δ_{a1}, δ_{a2}	angle de tête	°
δ_{f1}, δ_{f2}	angle de pied	°
δ_1, δ_2	angle primitif de fonctionnement	°

Tableau 1 (suite)

Symboles	Description ou terme	Unités
ε_β	rapport de conduite	-
η	angle de décalage de la roue dans le plan axial	°
η_1	deuxième angle auxiliaire (voir ISO 23509-1:2025, Figure 15)	°
θ_{a1}, θ_{a2}	angle de saillie	°
θ_{f1}, θ_{f2}	angle de creux	°
ϑ	angle auxiliaire	°
λ	premier angle auxiliaire (voir ISO 23509-1:2025, Figure 15)	°
ν	inclinaison de l'outil	°
ξ	angle auxiliaire	°
ρ_b	rayon du cercle de base épicycloïde	mm
ρ_{lim}	rayon de courbure limite	mm
$\rho_{m\beta}$	rayon de courbure moyen de la denture dans le sens longitudinal	mm
ρ_{P0}	entraxe roue plate virtuelle - outil de taillage	mm
Σ	angle des axes	°
$\Sigma\theta_f$	somme des angles de creux	°
$\Sigma\theta_{fC}$	somme des angles de creux pour une largeur de rainure constante	°
$\Sigma\theta_{fM}$	somme des angles de creux pour une largeur de rainure modifiée	°
$\Sigma\theta_{fS}$	somme des angles de creux pour une hauteur de denture standard	°
ζ_o	angle de décalage du pignon au niveau du plan de tête	°
$\zeta_{m,M1}, \zeta_{m,M2}, \zeta_{m,M3}$	angle de décalage du pignon dans le plan axial (Méthode 1, Méthode 2, ou Méthode 3)	°
$\zeta_{mi,M2}$	approximation de l'angle de décalage du pignon dans le plan axial (Méthode 2)	°
$\zeta_{mp,M1}, \zeta_{mp,M2}, \zeta_{mp,M3}$	angle de décalage du pignon dans le plan primitif de fonctionnement (Méthode 1, Méthode 2, ou Méthode 3)	°
$\zeta_{mpi,M1}$	approximation de l'angle de décalage du pignon dans le plan primitif de fonctionnement (Méthode 1)	°
$\zeta'_{m,M1}, \zeta'_{m,M2},$	valeur intermédiaire de l'angle de décalage du pignon dans le plan axial (Méthode 1, Méthode 2)	°
$\zeta'_{mp,M1}, \zeta'_{mp,M2},$	valeur intermédiaire de l'angle de décalage du pignon dans le plan primitif de fonctionnement (Méthode 1, Méthode 2)	°
ζ_R	angle de décalage du pignon au niveau du plan de pied	°
φ	angle intermédiaire ou auxiliaire	°

Tableau 2 — Indices courants

Indice	Description
a	de tête
b	de base
C	flanc convexe pignon en prise
D	flanc concave pignon en prise
d	nominal de conception
e	effectif, quand utilisé avec un angle de pression extérieur, quand utilisé avec une référence géométrique
f	de pied
i	intérieur, quand utilisé avec une référence géométrique valeur approximative, quand utilisé en rapport avec l'angle de décalage du pignon
lim	limite

Tableau 2 (suite)

Indice	Description
M1, M2, M3	Méthode 1, Méthode 2, Méthode 3
m	moyen
n	normal
o	face plane
p	plan primitif
R	plan de pied
t	tangentiel quand utilisé avec une force apparente
1	se réfère au pignon
2	se réfère à la roue

5 Application

Le présent document fournit six exemples de calculs:

- L'exemple 1 (voir [Annexe A](#)) montre le calcul de la géométrie d'engrenage spiroconique sans décalage hypoïde selon la Méthode 0;
- L'exemple 2 (voir [Annexe B](#)) montre le calcul de la géométrie d'un train d'engrenages hypoïdes selon la Méthode 1;
- L'exemple 3 (voir [Annexe C](#)) montre le calcul de la géométrie d'un train d'engrenages hypoïdes selon la Méthode 2;
- L'exemple 4 (voir [Annexe D](#)) montre le calcul de la géométrie d'un train d'engrenages hypoïdes selon la Méthode 3;
- L'exemple 5 (voir [Annexe E](#)) montre le calcul de la géométrie d'un train d'engrenages hypoïdes selon la Méthode 3;
- L'exemple 6 (voir [Annexe F](#)) montre le calcul de la géométrie d'un engrenage conique droit sans décalage hypoïde selon la Méthode 0.

Le [Tableau 3](#) se réfère à chaque tableau des annexes montrant les paramètres d'entrée et les résultats de calcul pour les différentes étapes des exemples de calcul.

Tableau 3 — Contenu des tableaux des Annexes A à F

Contenu du tableau	Exemple 1	Exemple 2	Exemple 3	Exemple 4	Exemple 5	Exemple 6
Données initiales						
Données initiales des paramètres du cône primitif de fonctionnement	Tableau A.1	Tableau B.1	Tableau C.1	Tableau D.1	Tableau E.1	Tableau F.1
Données d'entrée des paramètres de profil de dent	Tableau A.2	Tableau B.2	Tableau C.2	Tableau D.2	Tableau E.2	Tableau F.2
Transformation des données de type II en données de type I	Tableau A.3	Tableau B.3	Tableau C.3	Tableau D.3	Tableau E.3	Tableau F.3
Exemples de calcul						
Détermination des paramètres du cône primitif de fonctionnement	Tableau A.4	Tableau B.4	Tableau C.4	Tableau D.4	Tableau E.4	Tableau F.4
Détermination des données de base	Tableau A.5	Tableau B.5	Tableau C.5	Tableau D.5	Tableau E.5	Tableau F.5
Détermination des angles de cône de pied et de tête	Tableau A.6	Tableau B.6	Tableau C.6	Tableau D.6	Tableau E.6	Tableau F.6
Détermination de la hauteur de dent au point de calcul	Tableau A.7	Tableau B.7	Tableau C.7	Tableau D.7	Tableau E.7	Tableau F.7
Détermination des sommets des cônes de pied et de tête	Tableau A.8	Tableau B.8	Tableau C.8	Tableau D.8	Tableau E.8	Tableau F.8
Détermination de la largeur de denture du pignon	Tableau A.9	Tableau B.9	Tableau C.9	Tableau D.9	Tableau E.9	Tableau F.9
Détermination des angles de spirale intérieur et extérieur	Tableau A.10	Tableau B.10	Tableau C.10	Tableau D.10	Tableau E.10	Tableau F.10
Détermination de la hauteur de dent	Tableau A.11	Tableau B.11	Tableau C.11	Tableau D.11	Tableau E.11	Tableau F.11
Détermination de l'épaisseur de dent	Tableau A.12	Tableau B.12	Tableau C.12	Tableau D.12	Tableau E.12	Tableau F.12
Détermination des autres dimensions de l'engrenage	Tableau A.13	Tableau B.13	Tableau C.13	Tableau D.13	Tableau E.13	Tableau F.13

Les symboles, termes et définitions utilisés dans le présent document sont, dans la mesure du possible, cohérents avec d'autres Normes internationales. Toutefois, en raison de certaines limitations, il est reconnu que certains symboles, leurs termes et définitions, tels qu'utilisés dans le présent document, diffèrent de ceux utilisés dans certains documents relatifs aux engrenages cylindriques à dentures droites et hélicoïdales.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Annexe A (informative)

Exemple 1: Calcul de la géométrie pour un engrenage spiroconique sans décalage hypoïde selon l'ISO 23509-1:2025, Méthode 0

A.1 Données initiales

L'exemple 1 concerne un engrenage spiroconique sans décalage hypoïde qui utilise la Méthode 0 selon l'ISO 23509-1:2025.

Tableau A.1 — Données initiales pour le calcul des paramètres du cône primitif de fonctionnement

Symbole	Description	Méthode 0	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3
Σ	angle des axes	90°	X	X	X
a	décalage hypoïde	0 mm	X	X	X
$z_{1,2}$	nombre de dents	14/39	X	X	X
d_{m2}	diamètre primitif de fonctionnement moyen de la roue	-	-	X	-
d_{e2}	diamètre primitif de fonctionnement extérieur de la roue	176,893 mm	X	-	X
b_2	largeur de denture de la roue	25,4 mm	X	X	X
β_{m1}	angle de spirale moyen du pignon	-	X	-	-
β_{m2}	angle de spirale moyen de la roue	35°	-	X	X
r_{c0}	rayon de l'outil	114,3 mm	X	X	X
z_0	nombre de groupes de lames (tailage par génération uniquement)	-	-	X	X

Tableau A.2 — Données supplémentaires pour le calcul des dimensions de l'engrenage

Données de type I		Données de type II	
Symbole	Valeur	Symbole	Valeur
α_{dD}		20°	
α_{dC}		20°	
f_{alim}		0	
x_{hm1}	-	c_{ham}	0,247 37
k_{hap}	-	k_d	2,000
k_{hfp}	-	k_c	0,125
x_{smn}	-	k_t	0,091 5
		W_{m2}	-
j_{en}		0,127 mm	
θ_{a2}		2,134 2°	
θ_{f2}		6,493 4°	
q_k		0°	

Tableau A.3 — Transformation des données de type II en données de type I

Formule	Résultat
$x_{hm1} = k_d \cdot \left(\frac{1}{2} - c_{ham} \right)$	0,505
$k_{hap} = \frac{k_d}{2}$	1
$k_{hfp} = k_d \cdot \left(k_c + \frac{1}{2} \right)$	1,25
$x_{smn} = \frac{k_t}{2}$	0,046

A.2 Calcul de l'exemple 1 selon la Méthode 0

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai