



**HAL**  
open science

## Étude du bombé d'hélice dans les engrenages roue et vis

Yann Hiltcher, Michèle Guingand, Jean Pierre de Vaujany

► **To cite this version:**

Yann Hiltcher, Michèle Guingand, Jean Pierre de Vaujany. Étude du bombé d'hélice dans les engrenages roue et vis. 17e Congrès Français de Mécanique, Aug 2005, Troyes, France. hal-04227018

**HAL Id: hal-04227018**

**<https://hal.science/hal-04227018v1>**

Submitted on 3 Oct 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Etude du bombé d'hélice dans les engrenages roue et vis

Yann Hiltcher, Michèle Guingand et Jean-Pierre de Vaujany

LDMS - INSA Lyon – 8 rue des sciences  
69100 VILLEURBANNE

## Résumé :

*Pour s'affranchir du problème de montage dans les engrenages roue et vis, il est important que la roue possède un bombé le long de l'hélice. Ce bombé peut être créé lors de l'usinage en utilisant une fraise-mère surdimensionnée par rapport à la vis. La présente étude propose une formulation mathématique simple qui permet de lier le bombé d'hélice et le surdimensionnement de la fraise-mère.*

## Abstract :

*In order to release problems of assembly in worm gear, it is important that the wheel has a helix crowning. This crowning can be obtained during the gear cutting by a hob oversize. This paper proposes a mathematical expression to link the helix crowning with the hob oversize.*

## Mots clefs :

**Engrenage ; roue et vis ; surdimensionnement ; fraise-mère; bombé ; hélice.**

## 1 Bombé d'hélice

Le bombé d'hélice est devenu aujourd'hui un élément déterminant dans la conception des engrenages. Il permet de s'affranchir de nombreux problèmes et surtout de minimiser les effets de certains défauts de montage. En effet, lors de l'assemblage d'un engrenage, une légère inclinaison ou déviation déplace la zone de contact en bord de denture et crée un contact tronqué qui augmente considérablement les pressions en surface. Umezawa [1] a mis en évidence l'effet des défauts de montage sur le bruit d'engrènement. Bard [2] explique que ce phénomène est une conséquence d'une forte erreur de transmission, résultat des contacts en bord de denture.

Pour s'affranchir des problèmes de montage, Bard [2] a démontré qu'il est important de réaliser un bombé d'hélice sur un des deux organes de l'engrenage. Cette même idée a été reprise par Jacquin [3] dans le cas des engrenages faces. Grâce au bombé d'hélice, le contact reste sur la surface active de la dent, même en présence de désalignement. L'engrenage ainsi créé est alors moins sensible aux défauts de montage.

Pour la plupart des engrenages, créer un bombé nécessite de donner un mouvement particulier à l'outil lors du taillage. Dans le cas des engrenages roue et vis, il est possible de créer un bombé relatif en utilisant une fraise-mère surdimensionnée, c'est à dire une fraise-mère (F.M.) dont le diamètre est supérieur à celui de la vis destinée à engrener avec la roue. Dans de précédents travaux [4][5], nous avons montré que l'utilisation d'une fraise-mère surdimensionnée permet de diminuer la largeur de la zone de contact (figure 1-a). Cette largeur de contact est ainsi restreinte parce que la roue a un bombé moins important que celui de la vis (figure 1-b).

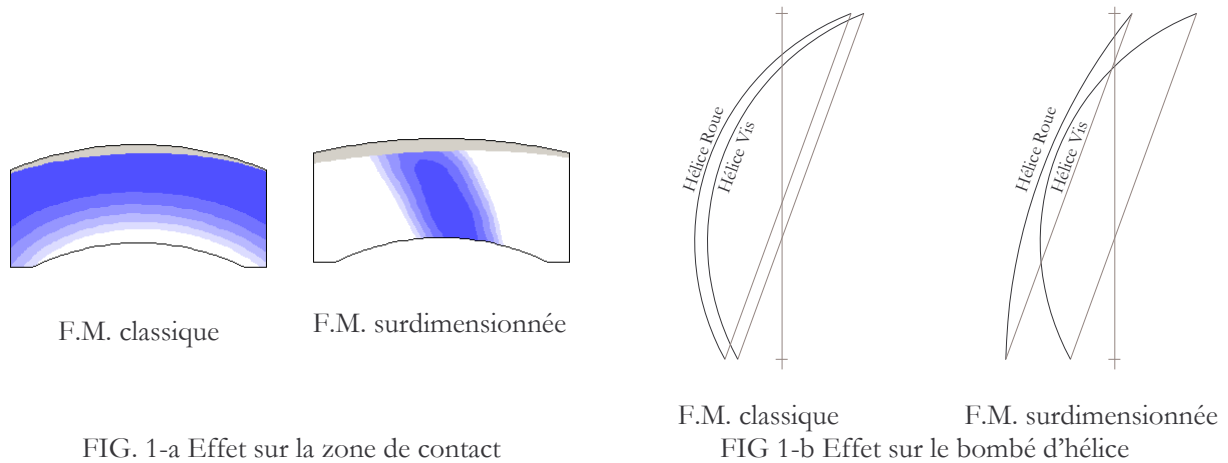


FIG. 1 – Conséquence du surdimensionnement de la fraise-mère

## 2 Modélisation de la métrologie de l'hélice

Pour comprendre comment le surdimensionnement agit sur le bombé de la roue, nous avons créé un modèle de simulation du contrôle de l'hélice. Nous avons ajouté au logiciel *RouVis* [4], qui permet d'obtenir la géométrie de la roue creuse, une simulation de la métrologie. Cette modélisation a été validée par l'intermédiaire des facteurs d'écart de direction d'hélice, *fbh*, et de bombé d'hélice, *cb*, mesurés et simulés.

### 2.1 Modélisation du taillage de la roue

Lors de l'utilisation d'une fraise-mère surdimensionnée, il est nécessaire d'incliner l'outil pour compenser la différence d'angle d'hélice entre la vis et la fraise-mère. Il est alors impossible de simuler le taillage de la roue avec la méthode des roulettes utilisée habituellement. Nous simulons donc l'usinage en reprenant la méthode des vitesses normales présentée par Litvin [6] et reprise par Colbourne [7] pour le cas des engrenages roue et vis.

Un point  $M_0(x_0, y_0, z_0)$  de la fraise-mère taille le point  $M_2(r, \theta, z_2)$  de la roue lorsque les vitesses normales sont opposées :

$$\vec{N}_0 \cdot (\vec{V}_2 - \vec{V}_0) = 0 \quad (1)$$

$\vec{N}_0(n_{x_0}, n_{y_0}, n_{z_0})$  est la normale commune aux deux profils,  $\vec{V}_2$  et  $\vec{V}_0$  sont les vitesses respectives de la roue et de la fraise-mère.

L'équation (1) permet alors d'écrire une relation paramétrique définissant la surface de la dent :

$$\begin{cases} r = \sqrt{x_l^2 + (a_0 - y_0)^2} \\ \theta = \arctg \frac{x_l}{a_0 - y_0} - \frac{\frac{x_l}{\cos \delta_0} + z_0 \operatorname{tg} \delta_0 - x_0}{r_2} \\ z_2 = \frac{z_0}{\cos \delta_0} + x_l \operatorname{tg} \delta_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{avec } x_l = \frac{1}{n_{y_0}} (r_2 n_{x_0} - (a_0 - y_0) (n_{x_0} \cos \delta_0 - n_{z_0} \sin \delta_0)), \quad r_2 = \frac{P_{z_0} Z_2}{2\pi Z_0}$$

$a_0$  et  $\delta_0$  définissant respectivement l'entraxe de taillage et l'inclinaison de la fraise-mère par rapport à la roue.

L'équation (2) ainsi développée permet de tracer par exemple une visualisation 3D de la roue dans le logiciel *RonVis* (figure 2-a) ou de générer automatiquement un solide dans *CATIA V5* (figure 2-b).

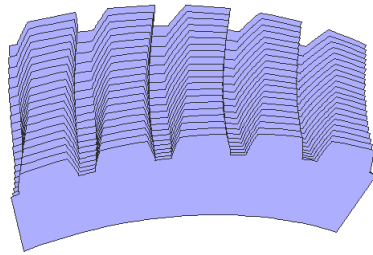


FIG. 2-a Vue 3D dans *RonVis*

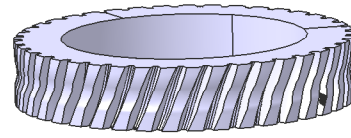


FIG 2-b Solide dans *CATIA V5*

FIG. 2 Géométrie de la roue

### 2.2 Modélisation du contrôle de l'hélice

Selon Henriot [8], le contrôle de l'hélice consiste à comparer le profil de la roue avec un profil de référence. Comme pour les engrenages cylindriques, le profil de référence utilisé pour contrôler les roues creuses correspond au profil d'une roue hélicoïdale en développante de cercle.

$$\theta_{réf} = \frac{z}{r \tan \gamma} \tag{3}$$

$\gamma$  est l'angle d'hélice sur le rayon de mesure  $r$ .

La simulation de la métrologie consiste alors à calculer l'écart normal,  $e_n$ , entre le profil de la roue et le profil de référence :

$$e_n = r(\theta - \theta_{réf}) \tag{4}$$

Afin de déterminer les facteurs  $fb$  et  $cb$ , il est nécessaire d'approximer la fonction écart par une parabole, obtenue selon la méthode des moindres carrés. Le bombé d'hélice, défini par le facteur  $cb$ , correspond à l'écart maximal entre la parabole  $(a_2 z^2 + a_1 z + a_0)$  et la droite reliant les deux points d'extrémité  $(z_0, e_0)$  et  $(z_1, e_1)$  (figure 3).

$$c_b \cdot \cos \alpha = \max_{z \in [z_1, z_2]} \left[ (a_2 z^2 + a_1 z + a_0) - \left( \frac{z - z_0}{z_1 - z_0} (e_1 - e_0) + e_0 \right) \right] \tag{5}$$

$$c_b = \frac{a_2}{4} (z_1 - z_0)^2 \tag{6}$$

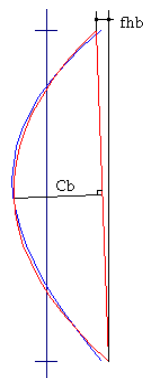


FIG 3.a Définition du bombé et de l'écart d'hélice

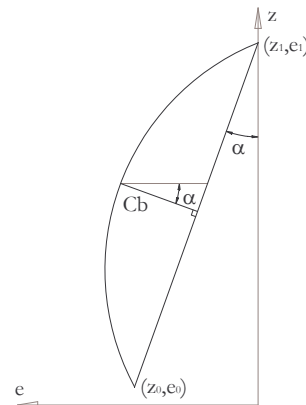


FIG 3.b Méthode de calcul

FIG. 3 Calcul du bombé d'une roue creuse

### 2.3 Validation du modèle

Avant d'utiliser notre modèle dans le cadre d'une étude de paramètres, nous avons validé la technique de calcul des facteurs *fbb* et *cb*. Sur plusieurs engrenages (données confidentielles), nous avons comparé les résultats de la simulation numérique et les mesures effectuées sur une machine ZEISS UMC 850. Les résultats présentés sur les figures 4 et 5 montrent l'excellente corrélation entre les mesures et la modélisation. Le tableau 1 présente les résultats numériques, moyennes de la mesure sur quatre dents et simulation numérique des coefficients *fbb* et *cb*.

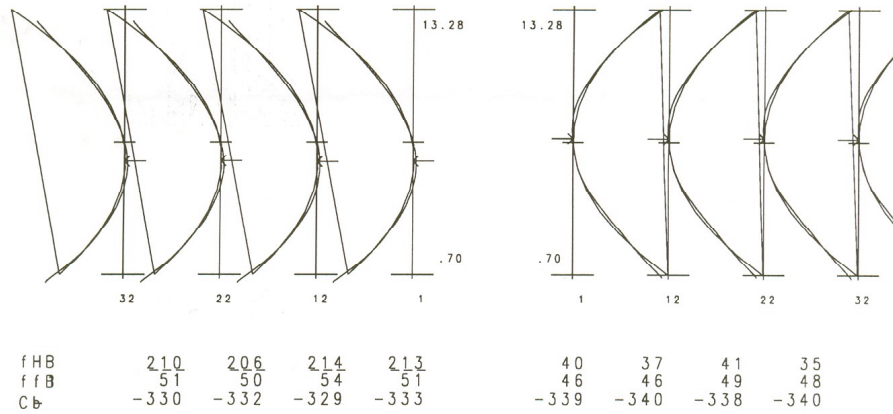


FIG. 4 Contrôle de la roue creuse sur une machine ZEISS UMC 850

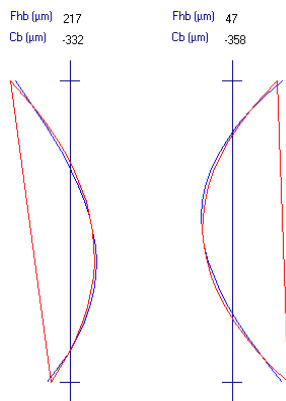


FIG. 5 Simulation du contrôle de la roue creuse

		Mesure	Simulation
Flanc droit	Fhb (µm)	211	217
	Cb (µm)	-331	-332
Flanc gauche	Fhb (µm)	38	47
	Cb (µm)	-340	-358

TAB. 1 Comparaison des résultats

## 3 Effet du surdimensionnement de la fraise-mère sur le bombé d'hélice

### 3.1 Présentation des cas traités

Pour présenter notre étude, nous avons choisi quatre couples de roue et vis. Ces quatre engrenages ont été construits selon le standard Henriot [8] à partir des données du tableau 2. Pour chaque cas, nous avons calculé le bombé d'hélice de la roue en fonction du diamètre de la fraise-mère, le surdimensionnement évoluant de zéro à deux fois le rayon de référence de la vis. Les profils de la fraise-mère sont de type A, l'entraxe de taillage est augmenté de la valeur du surdimensionnement pour conserver les épaisseurs de denture et simuler un taillage réaliste.

Cas	1	2	3	4
Filets de la FM	2	2	2	3
Dents de la roue	41	41	41	41
Module axial	2,00	2,00	4,00	2,00
Angle d'inclinaison (°)	9,50	15,00	15,00	15,00
Angle de pression (°)	20,00	20,00	20,00	20,00
Rayon de référence (mm)	11,95	7,46	14,93	11,19

TAB. 2 Définition des roues creuses utilisées en simulation

### 3.2 Estimation du bombé d'hélice

La mesure de profil peut être estimée en comparant non plus le profil des roues mais le profil des outils. Rappelons que la roue creuse est usinée par une fraise-mère similaire à une vis alors que la roue hélicoïdale de référence est taillée par une crémaillère de profil plan.

$$e_n(z) = x_{FM}(r_1, z) - z \tan \gamma \quad (7)$$

où  $x_{FM}$  correspond au profil de la fraise-mère et  $\gamma$  est l'angle d'hélice de la roue de référence.

Le bombé d'hélice,  $cb$ , correspond approximativement à la distance entre le point milieu de la mesure  $(z_m, e_m)$  et le centre du segment reliant les deux points d'extrémité  $(z_0, e_0)$  et  $(z_1, e_1)$  (figure 6).

$$c_b = \frac{e_1 + e_0}{2} - e_m \quad (8)$$

$$c_b = \frac{x_{FM}(r_1, -L_1) + L_1 \tan \gamma + x_{FM}(r_1, L_1) - L_1 \tan \gamma}{2} - x_{FM}(r_1, 0)$$

$$c_b = \frac{x_{vis}(r_1 + s, -L_1) + \frac{P_z}{2\pi} \arctan\left(\frac{-L_1}{r_1 + s}\right) + x_{vis}(r_1 + s, L_1) + \frac{P_z}{2\pi} \arctan\left(\frac{L_1}{r_1 + s}\right)}{2} - x_{vis}(r_1 + s, 0)$$

$$c_b = x_{vis}(r_1 + s, L_1) - x_{vis}(r_1 + s, 0) \quad (9)$$

Où  $r_1$  est le rayon de référence de la vis,  $P_z$  le pas hélicoïdal,  $s$  le surdimensionnement de la fraise-mère et  $x_{vis}$  la fonction définissant le profil axial de la vis.

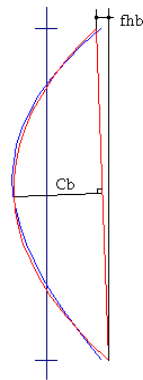


FIG 6.a Définition du bombé

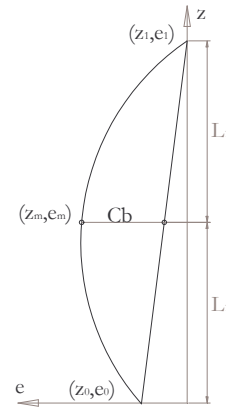


FIG 6.b Méthode d'estimation

FIG. 6 Estimation du bombé d'hélice

### 3.3 Validation de l'estimation

Pour les quatre cas présentés (tableau 2), nous avons comparé les résultats de la relation (9) avec les résultats de la modélisation numérique effectuée dans *RouVis*. La bonne superposition des courbes (figure 7.a à 7.d) permet de dire que l'expression (9) est une très bonne estimation du bombé d'hélice, l'erreur restant inférieure à 1,25%.

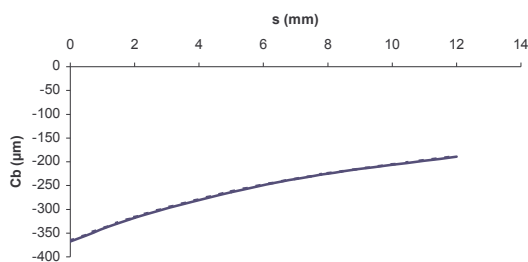


FIG 7.a Cas 1

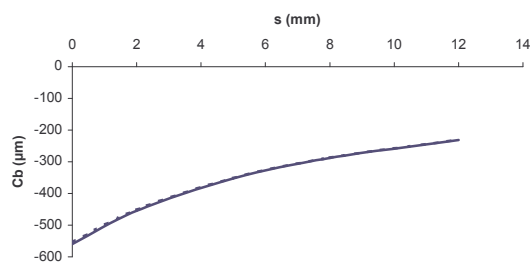


FIG 7.b Cas 2

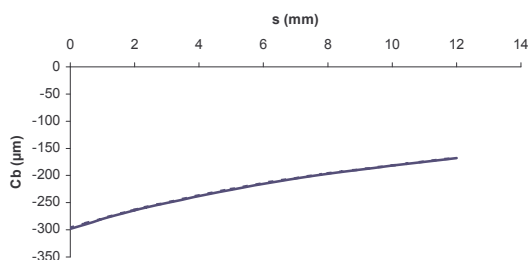


FIG 7.c Cas 3

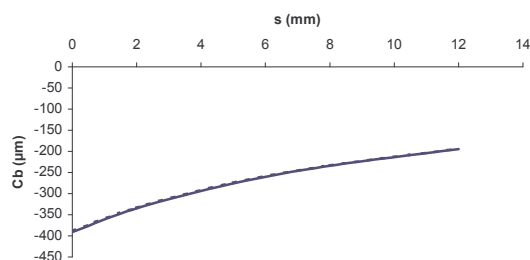


FIG 7.d Cas 4

— Modélisation du bombé  
 - - - Estimation du bombé selon l'expression (9)

FIG. 7 Comparaison des résultats de la simulation numérique et de l'expression (9)

## 4 Conclusion

Dans les engrenages roue et vis, il est possible d'estimer très rapidement le bombé d'hélice d'une roue creuse à partir du diamètre de la fraise-mère. Toutefois, pour compenser la différence d'angle d'hélice entre la vis et la fraise-mère surdimensionnée, il est nécessaire d'incliner l'outil lors du taillage. Cette inclinaison influençant le résultat, il serait intéressant d'intégrer ce dernier paramètre de taillage dans une nouvelle expression du bombé d'hélice.

## Références

- [1] K. UMEZAWA, T. SUZUKI, H. HUOJOH and K. BAGIASNA, «Influence of misalignment on vibration of helical gear». Proc. 2<sup>nd</sup> World Congress on Gearing, Paris, Mars 1986, pp 615-626.
- [2] C. BARD, «Modélisation du comportement dynamique des transmissions par engrenages». Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 1995, N°95 ISAL 0031.
- [3] C-Y. JACQUIN, «Modélisation et optimisation du comportement sous charge des engrenages face». Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 2001, N°01 ISAL 0045.
- [4] Y. HILTCHER, «Simulation et optimisation du taillage des roues et vis tangente – Etude selon la portée de dentures». Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 1998, N°98 ISAL 0125.
- [5] Y. HILTCHER, M. GUINGAND et PLAY D., «Caractérisation numérique de la portée de denture pour les engrenages roue et vis sans fin». 4th World congress on gearing an power. Transmission, Paris, March 1999.
- [6] F.L. LITVIN, "Theory of Gearing" NASA Refence publication 1212, 1989, 470 p.
- [7] J.R. COLBOURNE, "The use of oversize hobs to cut worm gears", Alexandria (Virginia), AGMA, 1989, 16p. AGMA paper 89FTB8.
- [8] G. HENRIOT, "Engrenages Conception-Fabrication et Mise en œuvre ", 7<sup>o</sup> Edition, Paris, Dunod, 1999, 875p.