

## APPROCHE THEORIQUE DU TAILLAGE PAR GENERATION

Michel BELOT

L S R H - RUE BREGUET 2 - 2000 NEUCHATEL

### RESUME

Le taillage des engrenages par génération reste, pour les faibles nombrages et pour les profils spéciaux un point délicat, surtout en ce qui concerne la faisabilité et la forme effectivement taillée. La méthode habituelle des enveloppes met en évidence, sans les expliquer, les phénomènes d' "oreilles". Nous essayerons, par une autre méthode, sinon d'éviter ces "oreilles", du moins de ne pas en être tributaires et d'autre part de pondérer théoriquement les défauts de taillage liés aux réglages des machines.

### 1. INTRODUCTION

Alors que les études d'engrenages sont très nombreuses, en microtechnique, les études complètes de taillage par génération sont peu présentes. En fait il faut bien comprendre que le problème est ici plus vaste puisqu'il faut disposer à la fois des méthodes de génération des profils et des méthodes de génération des fraises. Puisque les fabricants offrent les méthodes de calcul des fraises, les utilisateurs se contentent de déterminer leurs profils. Il ne faut pas s'étonner de cet état de fait puisqu'il faut des moyens informatiques et personnels importants pour développer le calcul des fraises et les utilisateurs de profils n'ont pas souvent la possibilité de céder 2 hommes-année à un développement dans le seul but de ne pas dépendre de la concurrence.

### 2. ETAT DE L'ART AU LSRH

Déjà actif dans le domaine engrenage, [1] et fraise [2], le LSRH a repris ce problème selon un schéma différent de celui existant actuellement. En effet, si l'on dispose d'un profil, le fabricant fournira une fraise déterminée par un programme de conjugaison [3], mais si le profil n'est pas générable, personne ne dira l'effet de l'erreur de la pratique par rapport à la

théorie ; on aura simplement un outil conjugué au profil théorique. Nous avons pu remarquer à plusieurs reprises que cette expérience est courante et qu'aucun des utilisateurs n'avait la possibilité de comparer ses résultats pratiques aux espoirs théoriques.

### 3. PROPOSITION

Nous proposons donc, partant d'un profil théorique, d'étudier sa générabilité et dans le cas de non faisabilité de permettre à l'utilisateur de connaître sa solution pratique avant de la fabriquer. Il pourra ainsi la simuler, connaître d'avance ses résultats d'engrenement quasi réels, et donc, corriger son profil si nécessaire avant de faire fabriquer les outils. Dans le même ordre d'idée, on pourra étudier les défauts de taillage dus, soit à de mauvais réglages, soit à de mauvais outils.

Une telle approche devrait permettre directement la sortie des chablon et de l'outil lui-même dans des délais beaucoup plus courts que ceux pratiqués jusqu'ici, et avec la garantie de fonctionnement la plus grande possible.

#### 4. SYSTEME D'EQUATIONS

On pense généralement que le système d'équation le plus efficace est décrit par la méthode des enveloppes.

Or, cette technique très académique a l'énorme défaut de ne pas fournir de courbe unique sauf pour la conjugaison des droites. Il faut alors programmer une famille de courbes et introduire un système de test très compliqué pour éliminer les indésirables. D'autre part, comme on ne cherche pas la conjugaison avec des courbes (cercles ...) mais avec des arcs de courbes, les enveloppes présenteront dans certains cas des discontinuités qui devront être étudiées à part, avec l'enveloppe de l'arc de courbe suivant et souvent avec les arcs de courbes eux-mêmes, ce qui perturbe la logique de programmation.

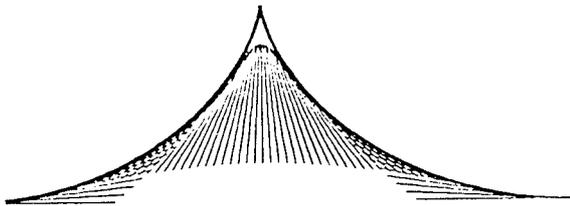


FIG. 1.1 ENVELOPPE DE DROITES SUR SEGMENTS

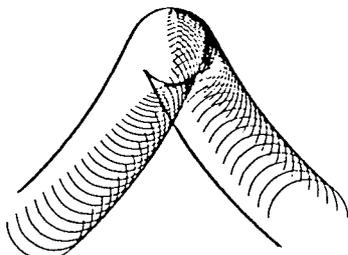


FIG. 1.2 ENVELOPPE DE CERCLES SUR ARCS

En reprenant un système d'équations mécaniques, c'est-à-dire qui décrit le phénomène d'interpénétration des profils conjugués, on s'affranchit aisément des contraintes liées à la théorie des enveloppes pour obtenir une équation unique pour tous les arcs de tout type, ce qui donnera au programme un aspect modulaire très intéressant. La logique de tri sera entièrement éliminée car les équations lient le profil du mobile au profil de la fraise point pour point et nous connaissons chaque point du mobile, donc nous connaîtrons chaque point de la fraise.

$$Y_F \cdot R = [\dot{X}\dot{X} + \dot{Y}\dot{Y}]^2 - [\dot{X}\dot{Y} - \dot{Y}\dot{X}] \sqrt{R^2 - [\dot{X}\dot{X} + \dot{Y}\dot{Y}]^2}$$

$$X_F \cdot R = R^2 \cdot \text{Artg} \frac{\dot{X}[\dot{X}\dot{X} + \dot{Y}\dot{Y}] + \dot{Y} \sqrt{R^2 - [\dot{X}\dot{X} + \dot{Y}\dot{Y}]^2}}{\dot{Y}[\dot{X}\dot{X} + \dot{Y}\dot{Y}] - \dot{X} \sqrt{R^2 - [\dot{X}\dot{X} + \dot{Y}\dot{Y}]^2}} - [\dot{X}\dot{X} + \dot{Y}\dot{Y}] [\dot{X}\dot{Y} - \dot{Y}\dot{X}] + \sqrt{R^2 - [\dot{X}\dot{X} + \dot{Y}\dot{Y}]^2}$$

$\dot{X}\dot{X}$ ,  $\dot{Y}\dot{Y}$  Coordonnées curvilignes

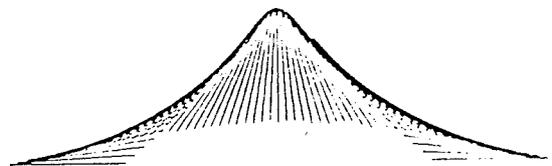


FIG. 2.1 PROFIL CONJUGUE AUX SEGMENTS

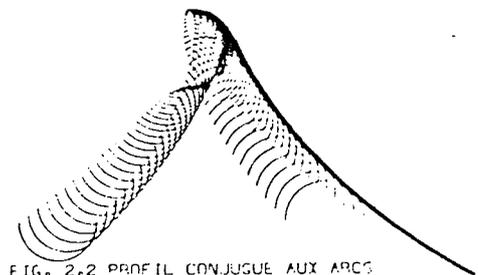


FIG. 2.2 PROFIL CONJUGUE AUX ARCS

Cette équation décrit une seule courbe et retrouve ce que l'on savait déjà, à savoir qu'une racine d'un nombre négatif ne donne pas de résultat réel et par suite que la normale au profil doit toujours couper le rayon de génération (rayon primitif de fraisage).

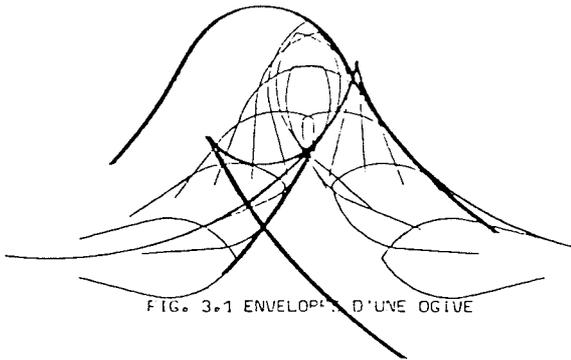


FIG. 3.1 ENVELOPPE D'UNE OGIVE

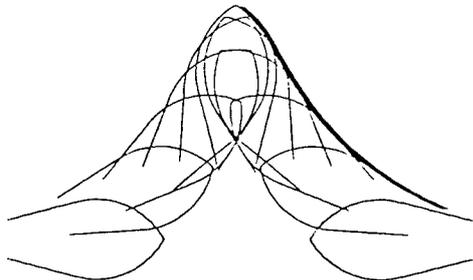


FIG. 3.2 PROFIL CONJUGUE A UNE OGIVE

## 5. ANALYSE

Mais, comme nous l'avons constaté et d'autres avant nous, cette condition est nécessaire mais non suffisante : il faut encore qu'il y ait unicité de signe de la dérivée de l'ordonnée de la fraise par rapport à l'ordonnée du profil. Le non-respect de cette condition conduit aux phénomènes dits "d'oreilles" caractéristiques des profils à faible nombre. À ce jour, la correction des profils pour pallier à cet inconvénient n'a pas été trouvée sauf si on accepte de détruire le profil plutôt que de le corriger.

En pratique, l'apparition de l'oreille signifie que l'on doit accepter un angle vif soit sur l'outil soit sur le profil. Or, un angle vif sur le mobile est source d'ennuis après la mise en service des engrenages, donc chez le client. Par contre, correctement

contrôlé au niveau de la fabrication, l'angle vif sur l'outil n'est pas gênant et son érosion sera toujours vérifiable puisque l'on pourra simuler les profils taillés en fin de série et par suite fournir les plans de contrôle des profils limites indiquant qu'il faut affûter ou changer la fraise.

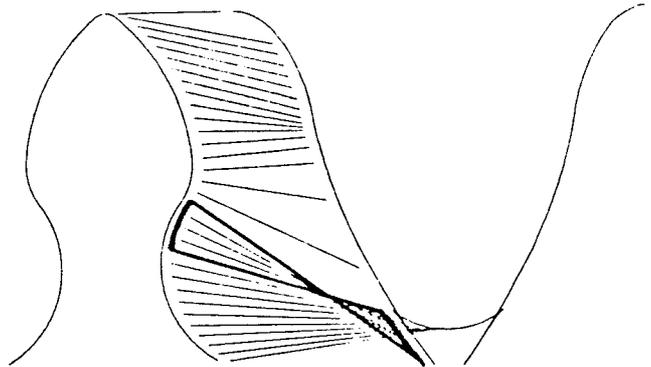


FIG. 4 APPARITION DE L'OREILLE SUR LA FRAISE

## 6. SIMULATION DES ERREURS

Après analyse, il semble qu'il existe trois types d'erreurs dont deux sont liées au réglage de la machine à tailler et une liée à la fraise elle-même, en supposant que les profils d'outil sont totalement respectés. La modélisation ponctuelle des erreurs a déjà été traitée et montre a priori que leur effet n'est pas toujours de même valeur. Il reste à construire totalement le profil résultant et à le simuler pour savoir si cette impression sera confirmée.

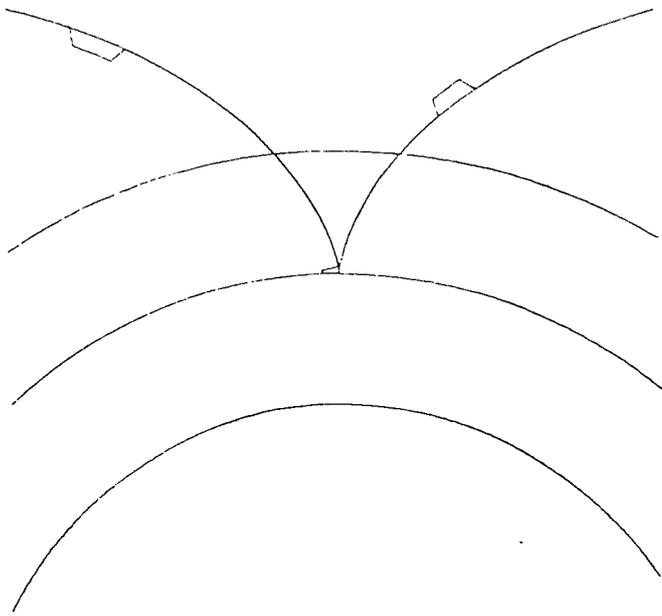


FIG. 5.1 TRAJECTOIRE DU CENTRE DU REPERE DE LA FRAISE  
EFFETS DU DECALAGE D'UNE COLONNE

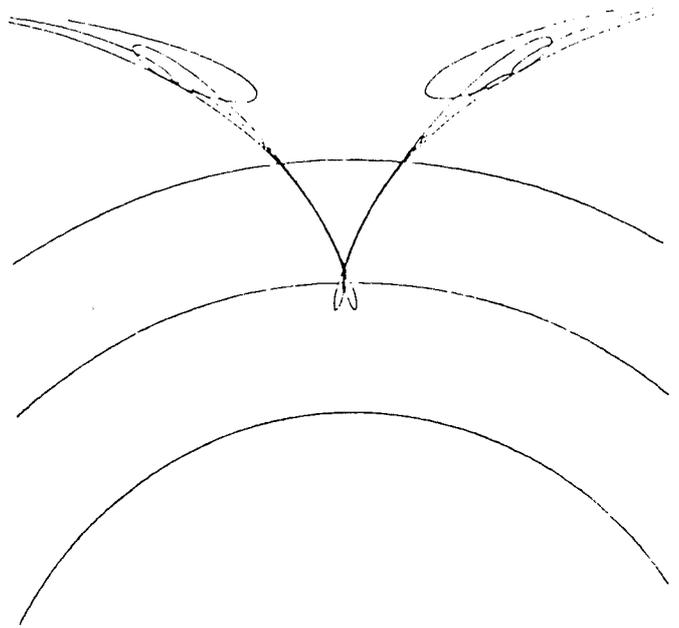


FIG. 5.3 TRAJECTOIRE DU CENTRE DU REPERE DE LA FRAISE  
EFFETS DE DEFATS DE MAL ROND

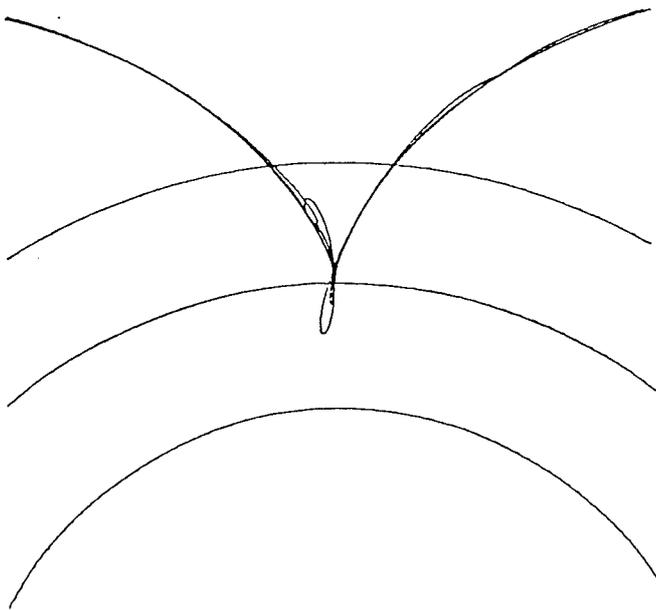


FIG. 5.2 TRAJECTOIRE DU CENTRE DU REPERE DE LA FRAISE  
EFFETS DE DEFATS DE MAL PLAT

## 7. CONCLUSION

Nous sommes à même de développer le programme, qui, partant d'un mobile, trouvera la fraise conjuguée en calculant s'il y a lieu l'angle vif sur l'outil et de retrouver le profil pratique. Ce dernier tiendra alors compte de l'effet de non générabilité et pourra être immédiatement corrigé et resimulé. La simulation de taillage sera réduite au minimum, à savoir, la recherche des zones modifiées par l'angle vif ou les erreurs de fabrication. Ce mode opératoire sera alors très efficace et ne laissera plus aucune place à l'approximatif car le processus sera totalement contrôlé.

## 8. REFERENCES

### 1. C.Stettler LSRH

Analyse et simulation de la transmission de l'énergie dans un micro-système. Congrès de la Société Suisse de Chronométrie 1977.

### 2. C.Stettler LSRH

Modèle de simulation de l'engrènement pour l'étude du comportement quasi-réel des engrenages de microtechnique. Congrès International de Chronométrie 1979 .

### 3. H.-P.Meily ETA SA

Programm zur rationellen Bearbeitung von Verzahnungsproblemen. Congrès de la Société Suisse de Chronométrie 1981 .

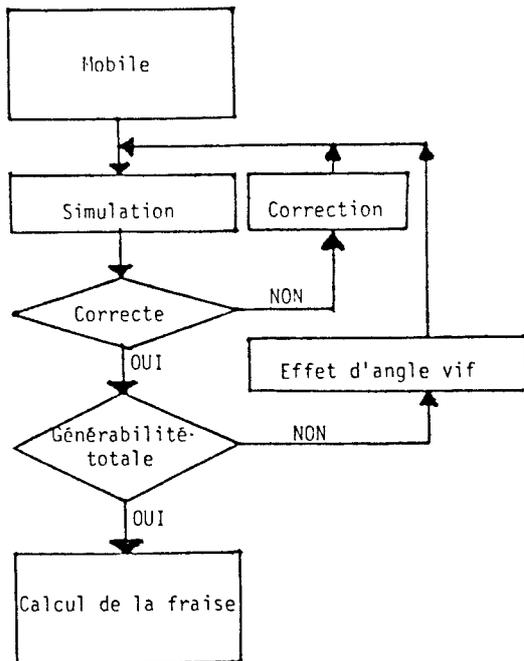


Fig. 6 : Processus global  
Le mobile est maître d'oeuvre  
La fraise est un résultat