

Les dentures des roues dentées sont de profil complexe (voir ressource « *Engrenages, conditions d'engrènement et procédés d'obtention* »). Les dentures sont façonnées par différents procédés suivant un taillage par génération, ou un taillage sans génération : usinage à la fraise, reproduction directe, déformation ... (voir ressource « *Taillage des engrenages sans génération* »).

Lors du taillage par génération, les dentures sont réalisées par enlèvement de matière. L'usinage consiste à simuler entre un outil (pignon, crémaillère, ou fraise) et la roue à tailler, un engrènement : le module de denture est imposé par l'outillage. Le mouvement d'engrènement contribue au mouvement d'avance dans l'opération d'usinage, et le mouvement de coupe dépend du procédé.

Cette ressource s'intéresse au procédé de taillage par génération avec l'outil fraise-mère, les mouvements d'avance et de coupe, ainsi que les formes de l'outil et les conditions de production sont présentés. La ressource « *Taillage des engrenages par génération, outil crémaillère et outil pignon* » développe les utilisations de l'outil crémaillère et de l'outil pignon.

1 – Taillage par fraise-mère

Le taillage par fraise-mère est actuellement le procédé le plus utilisé. Il est plus rapide que les procédés de taillage par outil crémaillère et outil pignon, l'usinage se faisant en continu sans allers retours d'outil générant des pertes de temps.

Ce procédé est extrêmement utilisé dans le secteur automobile qui nécessite de nombreux pignons, notamment pour les boîtes de vitesses.

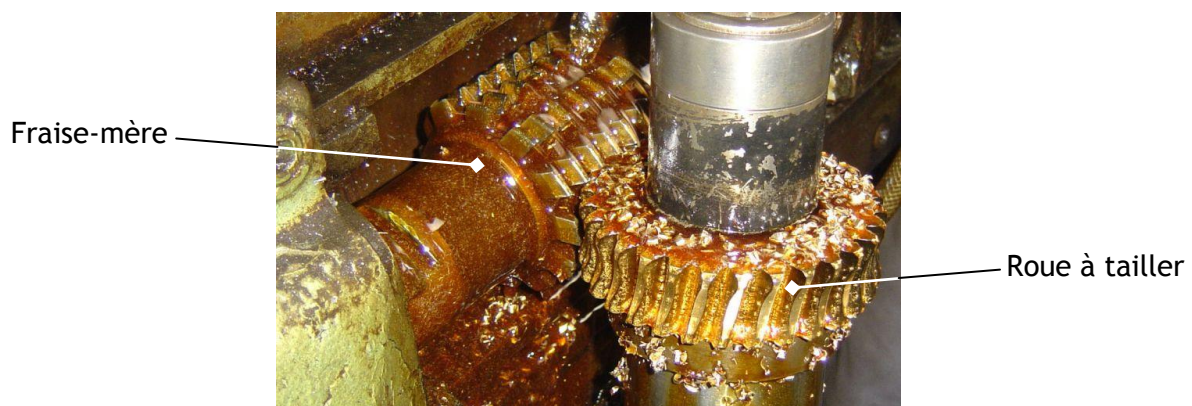


Figure 1 : Exemple de taille par fraise-mère, image AMMI [1]

1.1 - Description de la fraise-mère

L'outil fraise-mère a l'apparence d'une vis sans fin entaillée de gorges longitudinales pour aménager des arêtes tranchantes (figures 2 et 3). Chaque rangée de dents a le profil d'une crémaillère, les dents ne sont pas en développante de cercle. Le paragraphe 3 étudie les caractéristiques de la fraise-mère et le paragraphe 4 les différentes possibilités de sa réalisation.

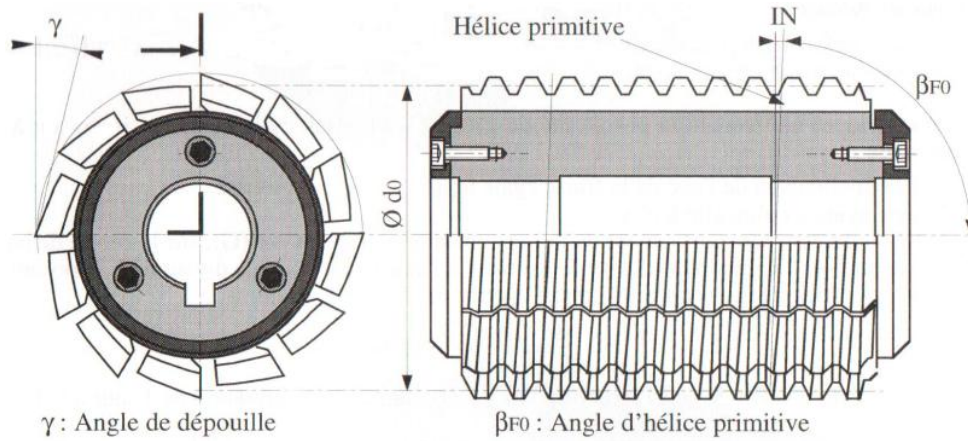


Figure 2 : Outil fraise-mère à un filet à gauche, image J. Dufailly [2]

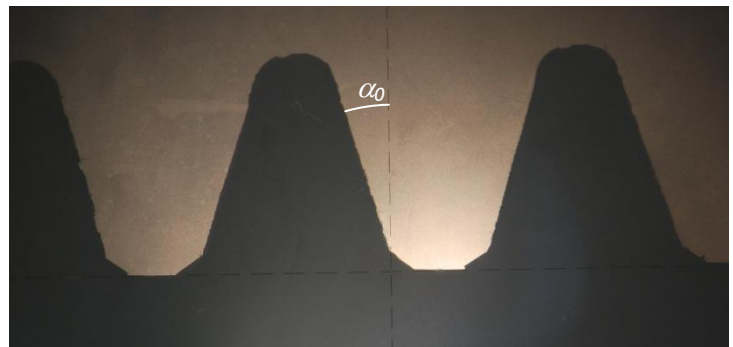
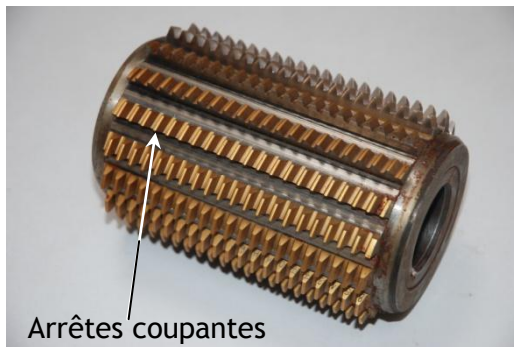


Figure 3 : Outil fraise-mère et son profil, images HHM

1.2 - Mouvements de l'outil et de la roue à tailler

Ce procédé nécessite plusieurs mouvements coordonnés afin d'obtenir sur la roue usinée le profil en développante de cercle (voir ressource « *Engrenages, conditions d'engrènement et procédés d'obtention* »). L'outil fraise-mère et la roue à tailler constituent un engrenage gauche dont les tangentes à l'hélice primitive de l'outil et de la roue restent constamment confondues. La fraise est animée d'un mouvement de rotation sur son axe (mouvement de coupe) ainsi que d'une translation parallèle à l'axe de la pièce (mouvement d'avance) à faible vitesse (figure 4) ; une translation radiale de l'outil assure la profondeur de passe. Les mouvements de rotation de la roue à tailler et de l'outil fraise-mère sont nécessairement liés, comme pour tous les taillages par génération. L'accroissement de la durée de vie de l'outil est assuré par une usure uniforme de toute la longueur active de l'outil : on réalise un déplacement de la fraise de long de son axe lors du taillage d'un grand nombre de pièces identiques, ce procédé s'appelle le shifting.

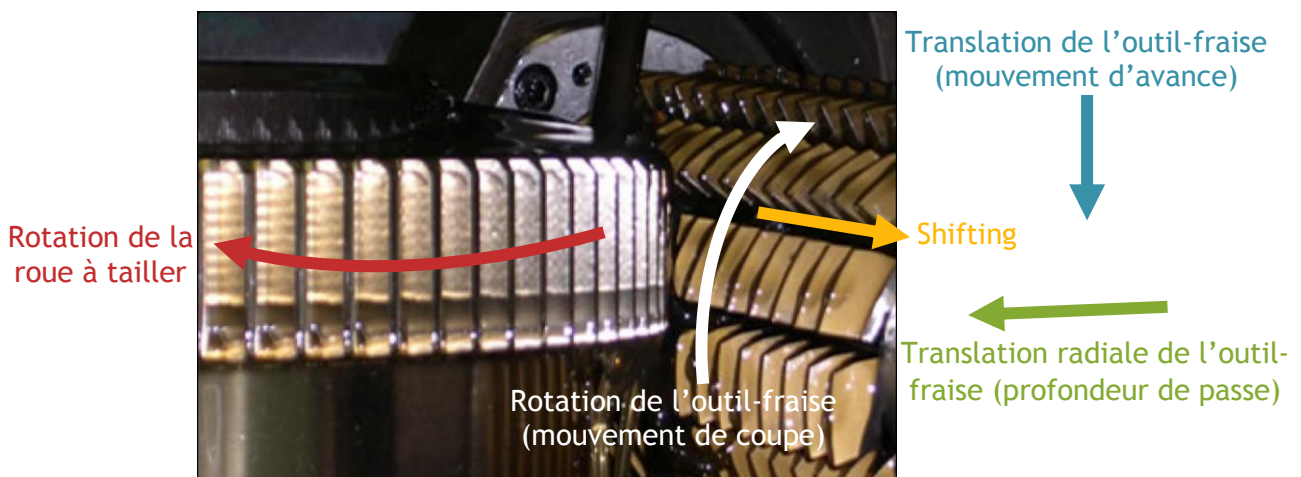


Figure 4 : Mouvements lors de l'usinage des dents d'une roue avec une fraise-mère

1.3 - Avantages et inconvénients

Ce procédé est rapide et très performant. Il nécessite des machines spécifiques et des opérateurs qualifiés. Les outils sont complexes et coûteux.

Il est impossible de réaliser des dentures intérieures, et d'utiliser le taillage par fraise-mère pour de gros pignons (il faudrait des fraises importantes).

2 – Choix d'usinage

L'usinage par fraise-mère requière de fixer des paramètres en fonction du travail à effectuer, il faut principalement déterminer :

- La vitesse de rotation de la fraise,
- La vitesse de rotation de la roue,
- La vitesse de translation de la fraise.

2.1 - Vitesses de rotation

La roue à tailler et la fraise-mère forment un ensemble assimilable à un engrenage de type roue et vis sans fin, elles doivent être dotées de mouvements de rotation liés. La fraise joue le rôle de la vis, on définit donc son nombre de filets par la relation qui régit ce type d'engrenage :

$$\frac{\omega_{fm}}{\omega} = \frac{Z}{Z_{fm}}$$

Avec ω la vitesse de rotation de la roue à tailler, ω_{fm} celle de la fraise mère, Z le nombre de dents de la roue à tailler et Z_{fm} , le nombre de filet de la fraise-mère.

2.2 - Translation de la fraise mère

Le mouvement de translation de la fraise-mère est dépendant de la forme de la fraise-mère et notamment de son angle d'hélice. Le parallèle avec une vis sans fin est toujours applicable (figure 5).

Si l'angle d'hélice de la vis sans fin est grand, celle-ci translate très rapidement lorsque la roue tourne. Il est intéressant d'augmenter l'angle d'hélice pour le taillage par fraise-mère cependant il ne faut pas usiner trop vite sous peine de détruire la fraise-mère, la pièce et même parfois d'endommager gravement la machine.

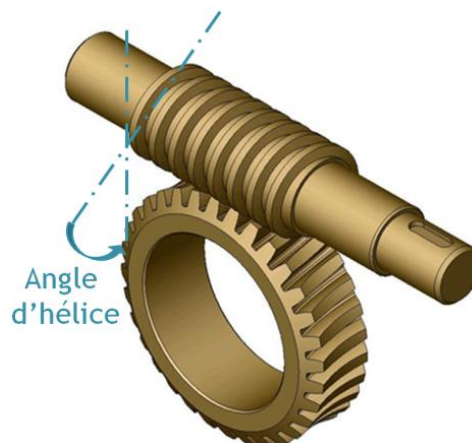


Figure 5 : Visualisation de l'angle d'hélice via le parallèle avec une vis sans fin

3 - Etude de l'outil fraise-mère

Les fraises-mères sont des outils complexes, de nombreux paramètres sont à prendre en compte pour effectuer des usinages conformes et aussi rapides que possible. Il existe plusieurs formes et plusieurs constructions de fraises-mères différentes, chacune étant adaptée à un type de roue à usiner plus qu'une autre.

3.1 - Forme générale

Une fraise-mère (identifiable à une vis sans fin) est dotée d'un pas qui est la distance séparant deux filets (figure 6). Comme pour tous les outils de taillage par génération (voir ressource « *Taillage des engrenages par génération, outil crémaillère et outil pignon* »), la fraise-mère est dédiée à tailler des dentures d'un seul module.

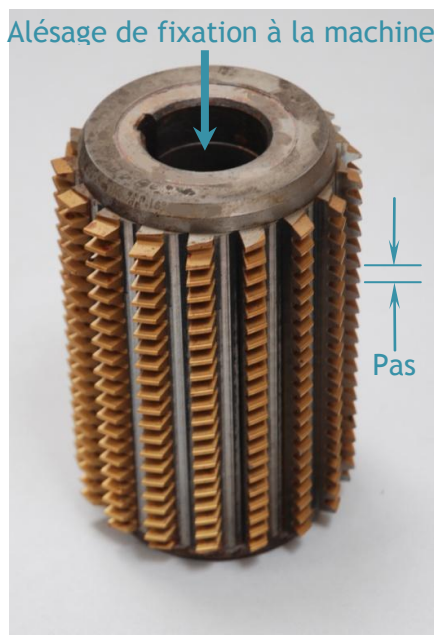


Figure 6 : Le pas d'une fraise-mère, image HHM

3.2 - Longueur

La longueur d'une fraise-mère est un paramètre important puisque la fraise ne se translate que dans un seul sens durant la coupe. Si elle est courte, il faut donc ramener la fraise à sa position d'origine lorsque toute sa longueur a taillé. Une fraise longue est donc plus rapide pour tailler des roues de grand diamètre car on élimine la perte de temps dans les allers-retours. De plus, les fraises longues ont une meilleure durée de vie que les courtes car l'usure est répartie sur un plus grand nombre de dents.



Figure 7 : Exemple de longue fraise-mère, image Liebherr [3]

3.3 - Angle de détalonnage

Ces paramètres angulaires et de longueur sont primordiaux pour le bon fonctionnement de la fraise et donc pour le bon déroulement de l'usinage. Ils sont régulièrement contrôlés au moyen d'un projecteur de profil par exemple, la fraise est envoyée en maintenance ou remplacée si les valeurs trouvées ne sont pas conformes.

En raison de la complexité de la forme des dents, de nombreuses parties sur une fraise-mère ont un nom spécifique ; on retrouve les mêmes termes que pour les faces d'outils de tour. On rencontre donc l'angle de détalonnage et la face de dépouille (figure 8) ; la face de dépouille est en forme de spirale pour assurer le non-contact pour chaque position angulaire.

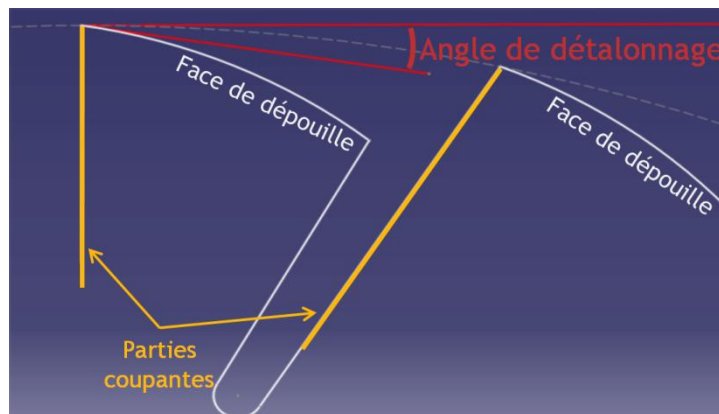


Figure 8 : Angle détalonnage et face de dépouille sur l'outil fraise-mère

Les fraises-mères sont dotées d'une géométrie complexe, il existe des machines spécialement dédiées à l'affûtage et au détalonnage des fraises-mères. L'intérêt de l'usinage à l'aide d'outil fraise-mère réside dans leur rendement plus important que les autres procédés.

4 – Construction de l'outil fraise-mère

On trouve trois types d'outils fraise-mère de conceptions différentes :

- Fraises à lames rapportées,
- Fraises monobloc,
- Fraises à plaquettes vissées ou brasées.

4.1 - Fraise-mère à lames rapportées

Ces fraises sont composées de plusieurs pièces et sont démontables pour pouvoir ne changer que les parties coupantes qui s'usent, et conserver le corps de la fraise.



Figure 9 : Fraise-mère et ses composants

4.1 - Fraise-mère monobloc

Ces fraises sont composées d'une seule pièce (figure 10), elles ne sont pas réparables mais affûtables lorsqu'elles sont usées. Le constructeur donne un seuil d'affûtage à partir duquel la fraise doit être changée (l'affûtage modifie la forme des dents).

Ces fraises sont plus onéreuses que les modèles à lames rapportées mais également plus rigides et plus résistantes, et ont donc une meilleure durée de vie.



Figure 10 : Exemples de fraises-mères en carbure monobloc, image Vergnano [4]

4.2 - Fraise-mère à plaquettes vissées ou brasées

Ces fraises-mères sont constituées d'un corps de fraise sur lequel on assemble des plaquettes carbures de taille similaire à de petites plaquettes d'outil de tour. Elles sont très peu utilisées aujourd'hui car on leur préfère les modèles monobloc ou à lames rapportées.

5 – Conclusion

Les fraises-mères sont des outils complexes à fabriquer (justifiant par là le prix d'achat élevé) et à mettre en œuvre par la coordination des mouvements nécessaires à l'usinage (les machines à commandes numériques sont très performantes). Il est logique que le taillage des engrenages par fraise-mère soit très utilisé par le secteur automobile, compte tenu des tailles de productions et du rendement élevé que ce procédé permet.

Il existe d'autres moyens de production de roues dentées que le taillage par génération présenté dans cette ressource et dans la ressource « *Taillage des engrenages par génération, outil crémaillère et outil pignon* ». Quelques procédés de taillage sans génération sont présentés dans la ressource « *Taillage des engrenages sans génération* ». La ressource « *Contrôle des engrenages* » permet d'aborder les points de mesure à contrôler.

Références :

[1]: <http://www.ammi-caen.fr/index.php>

[2]: Etude géométrique des engrenages cylindriques de transmission de puissance, J. Dufailly, Ellipses

[3]: <https://www.liebherr.com/fr/fra/produits/technique-d-engrenages-automation/technique-d-engrenages-automation.html>

[4]: <http://www.vergnano.com/fr/index.php>

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>