

Annexe A

Les types des engrenages

A1. Engrenages à axes parallèles (engrenages cylindriques)

Dentures cylindriques droites ou hélicoïdales. Pour ces types, le profil de denture et presque exclusivement en développante de cercle (figure A.1). Cependant, on rencontre d'autres profils pour les dentures droites : à arc de cercle (roue à chaîne) (figure A.2), en épicycloïde, en hypocycloïde (compresseur Root) (figure A.3), mais leur utilisation est moins courante.

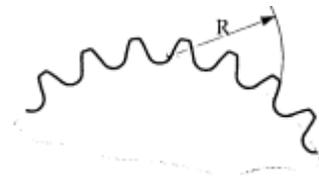
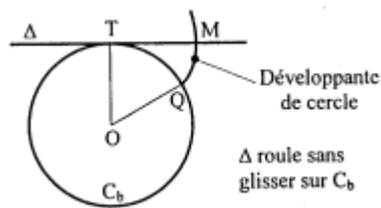


Figure A.1 : Profil en développante de cercle.

Figure A.2 : Profil à arc de cercle.

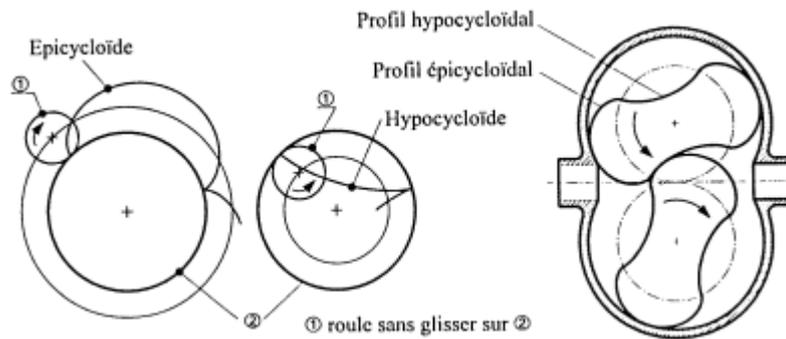


Figure A.3 : Epicycloïde, Hypocycloïde, Compresseur Root.

A.1.2 Engrenage gauche (système roue et vis sans fin)

Un engrenage à vis est un engrenage gauche constitué d'une vis et d'une roue à vis conjuguée. Le profil de la vis est (en général) trapézoïdal. Dans de nombreux cas ce dispositif est irréversible, ce qui signifie que si la vis peut entraîner la roue, la roue ne peut pas, en raison des frottements, entraîner la vis. Ce cas est intéressant par exemple pour la commande d'un treuil qui ne peut pas se dérouler tout seul.

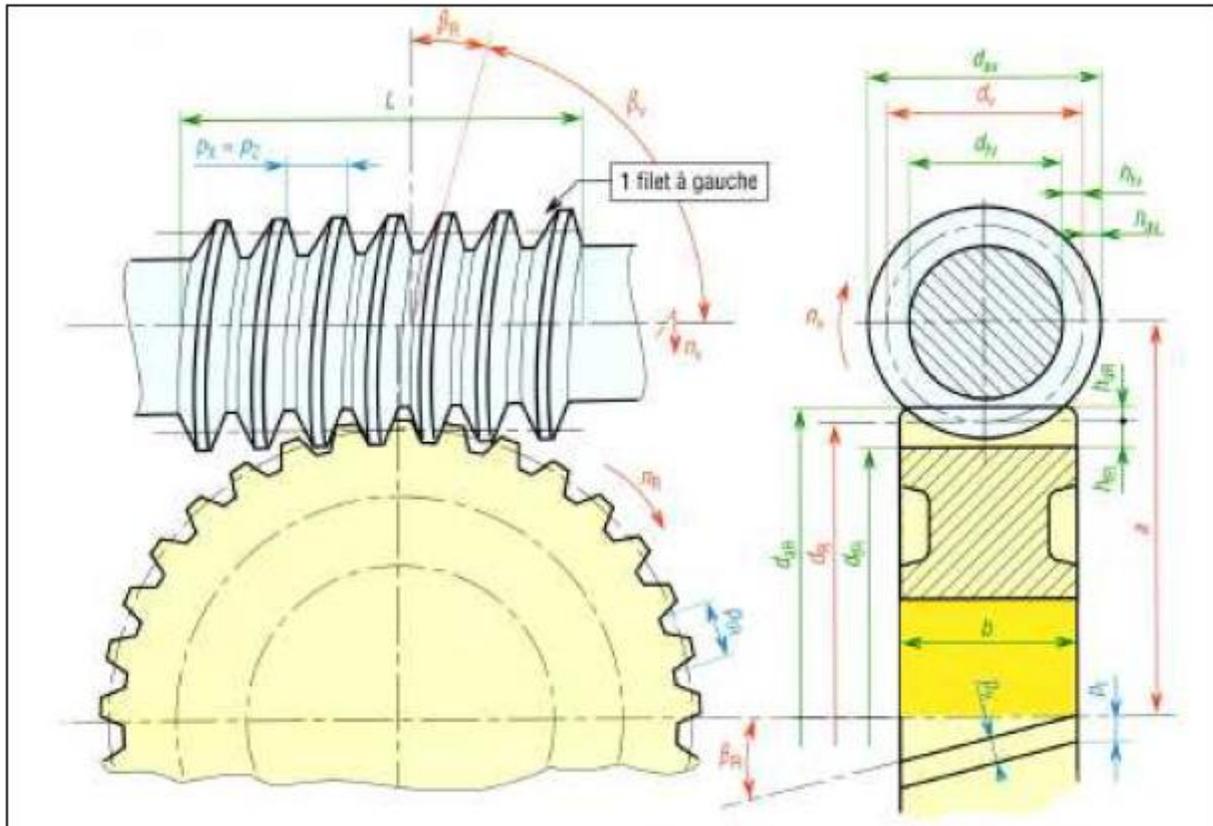


Figure A.4 : Caractéristiques d'engrenage gauche (système roue et vis sans fin).

A.2 les techniques de fabrication des engrenages

Il existe plusieurs techniques de fabrication qui dépend des paramètres suivantes :

- Prix de revient des dentures finies ;
- Précision macro et micro-géométrique ;
- Acoustique des engrenages en fonctionnement.

Ainsi, il apparaît deux grandes familles de stratégies. Une première stratégie consiste à finir géométriquement les dentures à l'état recuit, puis à faire le traitement de durcissement associé.

Cette stratégie implique d'anticiper les déformations éventuelles lors de la phase d'usinage.

La classe de tolérance visée est de l'ordre de 7 à 8. Une deuxième stratégie consiste à ébaucher les dentures à l'état recuit, et à calibrer la géométrie à l'issue du traitement thermique. Il paraît clair que la deuxième stratégie permet d'obtenir une classe de précision bien supérieure à la première (jusqu'à classe 3), alors que la première stratégie permet d'obtenir des dentures avec des coûts de production notablement réduits.

A.2.1 Taillage par reproduction

L'outil est une fraise du type à profil constant : il a la forme de l'intervalle entre deux dents.

Deux types de fraises : soit les fraises-disques ou fraise module, soit les fraises en bout.

A.2.2 Fraisage à la fraise module

Cette technique fait partie des techniques les plus simples Elle fait appel à des fraises de formes spécifiques en acier rapide ou en carbure de tungstène. Les dentures sont réalisées sur des fraiseuses manuelles munies d'un diviseur. Il s'agit d'une technique de production de dentures en très petite série, facile à mettre en œuvre, mais présentant une productivité très faible, ainsi qu'un coût machine et un coût outil très élevés.



Figure A.5 : Taillage à la fraise disque

A.2.3 Fraisage à la fraise en bout

La partie active de l'outil cylindrique est une surface de révolution dont l'axe rencontre celui de la roue à tailler.

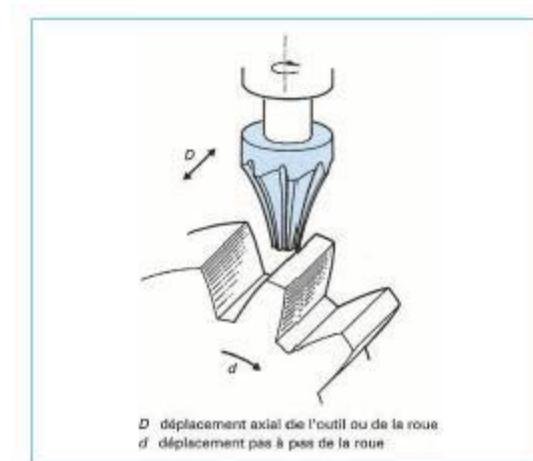


Figure A.6 : Taillage à la fraise en bout.

C'est un procédé très employé pour les gros modules, supérieurs à 20, des roues de grosses machines (laminoirs, treuils de mines...) et le taillage des dentures à chevrons.

A.2.4 Taillage par génération

Dans cette méthode on donne à l'outil et à la pièce des mouvements relatifs convenablement conjugués qui reproduisent le mouvement d'engrènement et de la sorte l'outil taille en engendrant le profil au fur et à mesure de son déplacement par rapport à la pièce qu'il taille.

A.2.5 Taillage à l'outil crémaillère

Cette technique, développée par l'ancienne société MAAG, autorise le taillage de dentures en utilisant le principe d'engrènement d'une crémaillère et d'une roue dentée, cette technique dite de génération utilise des peignes en acier rapide munis d'un mouvement alterné permettant de couper la matière. Cette technique très lente nécessite des machines spécifiques et mises en œuvre par des opérateurs hautement qualifiés. Elle est donc réservée à des applications de très petites séries à haute valeur ajoutée (roues de très gros diamètres). Elle présente cependant un avantage intéressant, car les outils étant de géométries très simples, ils sont facilement et rapidement réalisables et réaffûtés. Cela permet la fabrication de dentures prototypes de géométries quelconques (non normalisées) pour des applications à hautes valeurs ajoutées nécessitant une réactivité importante (aéronautique, prototypes pour nouvelles boîtes de vitesses, etc.).

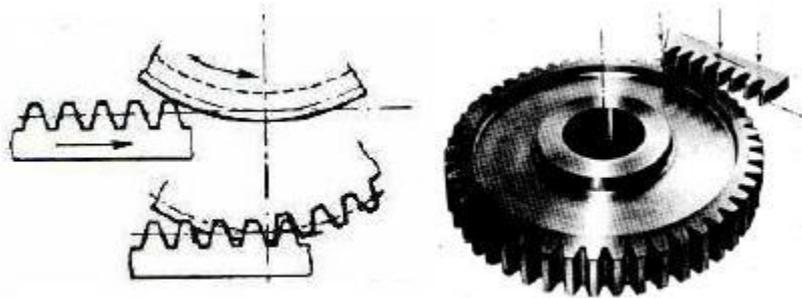


Figure A.7 : Taillage à l'outil crémaillère

A.2.6 Taillage à l'outil pignon

Ce principe de taillage utilise le principe de l'engrènement de deux roues dentées.

L'outil est un pignon droit ou hélicoïdal muni d'un mouvement alternatif de mortaisage. La rotation de la pièce et de l'outil est synchronisée selon le rapport du nombre de dents outil/pièce. Dans le cas d'un taillage hélicoïdal, l'outil effectue en plus un mouvement de vissage lors des courses travail et retour. La pénétration de l'outil dans la pièce peut se faire sur une portion de tour ou bien sur plusieurs tours. Les flancs des dents sont dépouillés pour obtenir les arêtes de coupe. Le diamètre extérieur évolue en fonction de l'épaisseur de la dent résultant de la dépouille latérale. Les paramètres de définition sont ceux d'un pignon : nombre de dents, épaisseur de base, diamètre extérieur maxi. Le principal avantage de l'outil pignon

est de pouvoir être utilisé dans un espace réduit. Il faut un peu de distance en entrée pour mettre l'outil à vitesse souhaitée et un peu d'espace en sortie pour l'arrêter.

C'est une opération de mortaisage réalisée sous huile entière afin de limiter les adhésions liées aux basses vitesses de coupe. Cette technique conduit à des chocs importants sur les outils, et n'autorise que des qualités médiocres. Enfin le temps de cycle est très important, ce qui rend ce procédé non productif comparativement au taillage par fraise-mère.

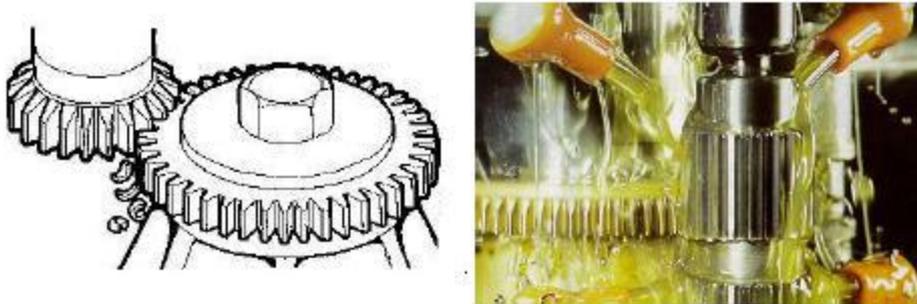


Figure A.8 : Taillage à l'outil pignon.

A.2.7 Taillage par fraise-mère

Le taillage par outil fraise-mère est de loin le plus utilisé des procédés de génération de dentures à développante de cercle. Le taillage à la fraise-mère utilise le principe du système roue et vis-sans-fin. la pièce à tailler étant la roue et la fraise-mère étant la vis-sans-fin. La fraise-mère est une vis-sans-fin, munie de goujures créant des dents. Pour un tour de fraise-mère, la roue s'est déplacée d'un pas circulaire. Si par exemple la fraise est une vis à un filet et que la roue à tailler doit avoir z dents, la fraise devra faire z tours pendant que la roue à tailler ne fera qu'un seul tour.

Si la fraise est à z_0 filets, elle devra faire z/z_0 tours pendant que la roue à tailler ne fera

Qu'un seul tour. Lors du taillage, les deux objets sont en rotation à vitesse constante selon un

rapport :
$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{z}{z_0}$$

avec ω : vitesse de rotation de la pièce à tailler (tr/min), ω_0 : vitesse de rotation de la fraise-mère (tr/min).

Les dents possèdent une dépouille (un détalonnage) afin de ne pas frotter sur les surfaces usinées. La fraise-mère est munie d'un mouvement d'avance selon la génératrice de la denture à tailler.

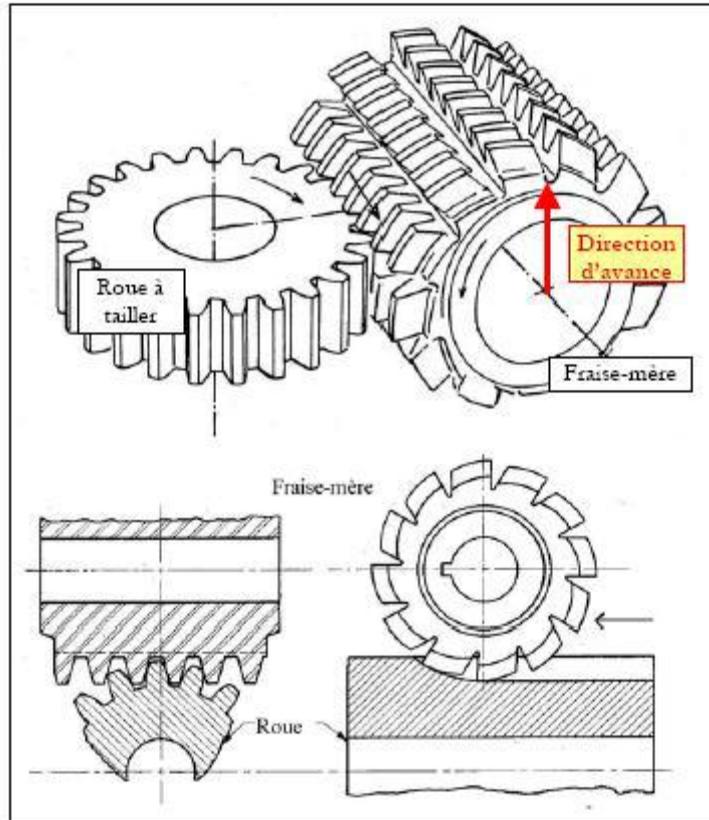


Figure A.9 : Taillage à la fraise mère.

Les avantages du taillage à la fraise-mère sont nombreux. En effet, cette technique permet la production de dentures dans des temps très courts et avec une qualité remarquable. Le travail à la fraise-mère permet d'avoir un très grand nombre de dents en prise simultanée, ce qui autorise des débits très importants de matière, ainsi qu'une coupe très continue permettant une bonne qualité de denture. Enfin, les outils peuvent tailler une quantité très importante de dentures jusqu'à la réforme définitive de l'outil, grâce à des affûtages successifs qui rendent le coût outil particulièrement bas. La seule limite de ce procédé vient de l'encombrement important que nécessite l'outil de part et d'autre de la denture.

A.3. Techniques de finition des dentures

Tout d'abord, il faut distinguer les techniques de finition avant traitement thermique (rasage) et les techniques de finition après traitement thermique (rectification, rodage, etc.).

A.3.1 Rasage ou Shaving

Le shaving est une méthode d'usinage par enlèvement de copeaux sur les flancs de dents des engrenages (surépaisseur de 0.03 à 0.05 mm). C'est une technique d'usinage par copeau 'gratté' qui s'apparente au travail de l'alésoir monobloc. Il permet d'améliorer la forme et l'état de surface, ainsi que d'atténuer le battement et l'erreur de division. Des classes de précision de l'ordre de 5 à 6 sont atteintes. Celles-ci deviennent des classes 7 à 8 après le traitement thermique. Au cours de l'usinage, la pièce est entraînée par le couteau sans synchronisation par la machine. Le couteau et la pièce ont un angle d'hélice, et forment un engrenage à axes croisés. Le rasage est basé sur une propriété de ce type d'engrenage : le glissement longitudinal. Il faut déplacer le point de croisement des axes par un mouvement longitudinal ou transversal de la pièce par rapport au couteau sur toute la largeur de la denture ou bien corriger l'outil afin d'obtenir une épaisseur uniforme de la dent.

La géométrie des dentures après rasage devra tenir compte des déformations de traitement thermique, valeurs et sens des déformations étant obtenus après une série d'essais. C'est un procédé très simple et très performant. Son seul inconvénient est de ne pas s'appliquer après traitement thermique. Il ne peut donc pas s'appliquer lorsque les dispersions de déformation sont trop importantes.

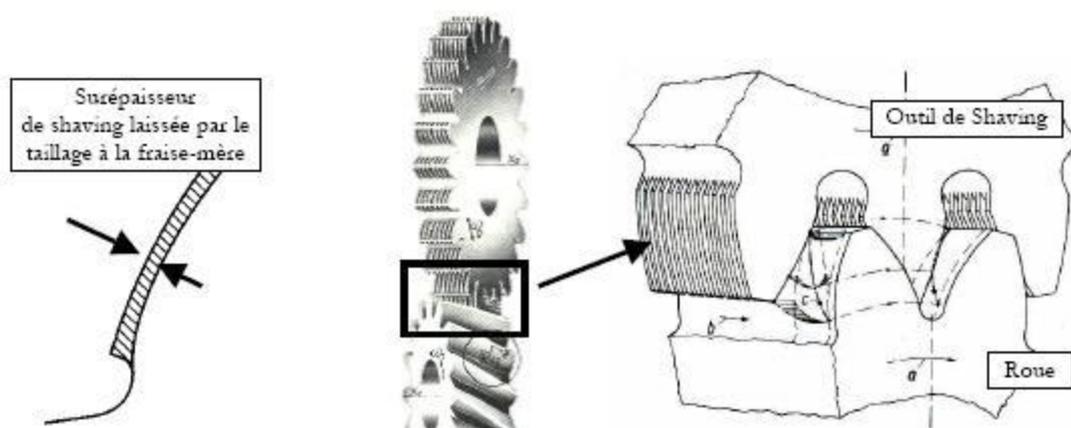


Figure A.10 : Rasage des dentures.

A.3.2 Rectification

C'est une opération de finition des dentures qui s'effectue après traitement thermique et qui permet de rattraper les déformations dues au traitement thermique. La rectification permet d'appliquer les corrections de denture demandées au plan. La surépaisseur enlevée est très supérieure à la surépaisseur enlevée en shaving : environ 0.1 mm par flanc, ce qui autorise de récupérer des déformations importantes. Par voie de conséquence, il est nécessaire d'appliquer des profondeurs supérieures de traitement thermique.



Figure A.11 : Rectification des dentures.

Plusieurs procédés existent :

- ◆ Par meule-mère, Principe identique au taillage par fraise-mère, l'outil est une meule de grand diamètre. C'est le procédé le plus courant et le plus productif.
- ◆ Par meule-assiette, le travail est effectué flanc par flanc, comme en taillage par crémaillère. Cette technique est réservée à la rectification de dentures de très petites séries dans des géométries spéciales.
- ◆ Par meule-module, principe identique au fraisage à la fraise-module. Cette technique a retrouvé de l'intérêt en production de moyenne série.

La technique de rectification par meule-mère est de loin la technique la plus répandue. Ses limites techniques sont liées à l'utilisation d'outils de grands diamètres pour obtenir les vitesses de coupe suffisantes. Il faut donc de l'espace autour de la denture à rectifier. Le principal inconvénient de la rectification est son investissement initial, son entretien, ainsi que son prix de revient très élevé.

Remarque : Certaines méthodes de rectification nécessitent une opération supplémentaire de honing pour effacer des défauts de surface très gênants du point de vue acoustique.

A.3.3 Rodage ou Honing

C'est une opération de finition après traitement thermique. La qualité obtenue est intermédiaire entre le rasage et la rectification. L'outil comporte une denture intérieure qui engrène à axes croisés avec le pignon à usiner. Comme pour le rasage, la surépaisseur est faible, de l'ordre de 0.02 à 0.04 mm. Il n'est donc pas possible de rattraper des défauts trop importants. Ce procédé peut s'utiliser seul, en alternative à la rectification, ou en complément de celle-ci pour améliorer les défauts de surface, nuisibles à l'acoustique.



Figure A.12 : Rodage des dentures.

Annexe B

Présentation du logiciel Inventor

B.1 Interface d'utilisateur

Le logiciel Inventor contient quatre types de fichiers pièces (ipt), assemblage (iam), dessin technique (idw ou dwg) et présentation (ipn).

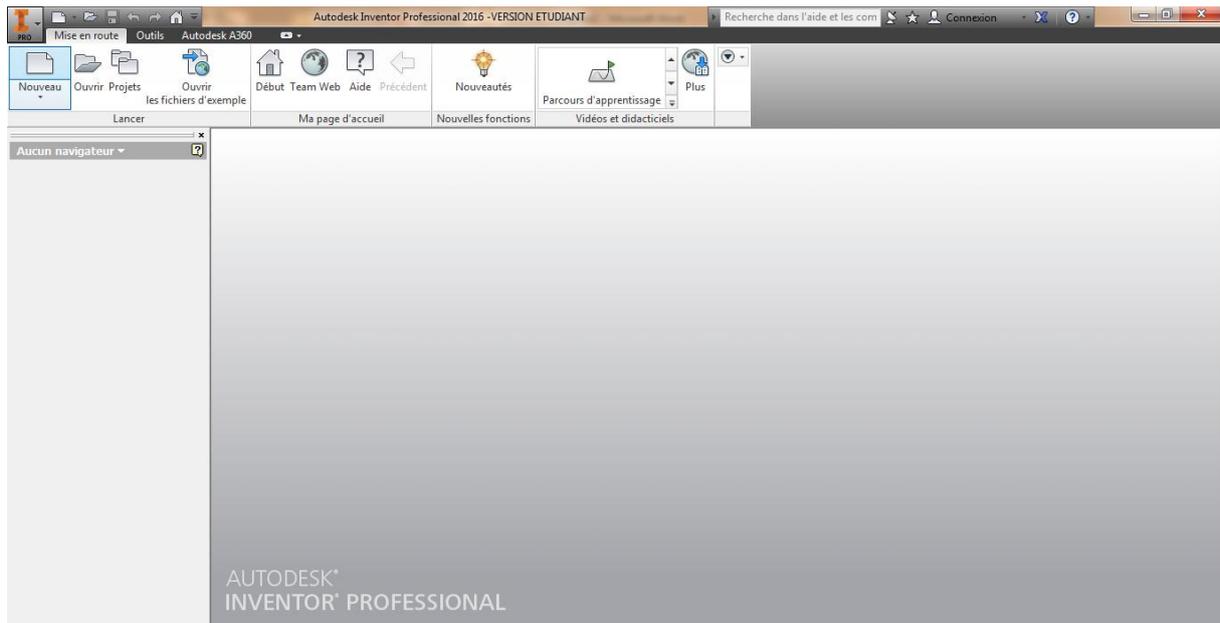


Figure B.1 : Capture d'écran d'accueil du logiciel Inventor Professional 2016.

Une fois ouvrir un type de fichier quel que soit-il un fichier pièce, assemblage ou dessin technique l'interface de ce logiciel se change automatiquement avec l'apparence des outils Différents, mais on remarque que la barre d'outil et la barre de navigation restent les mêmes quel que soit le type de fichier.

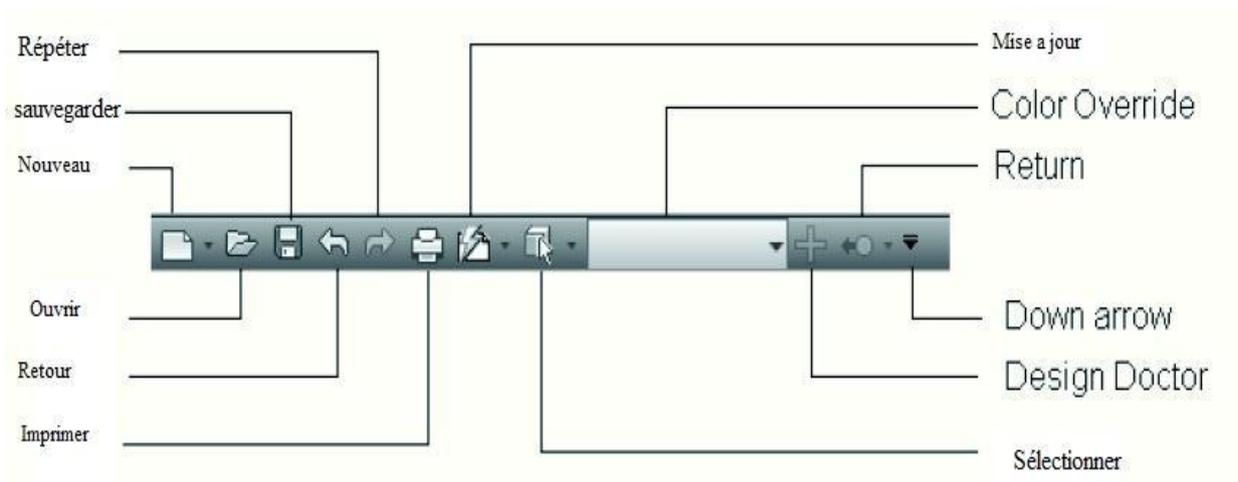


Figure B.2 : La barre d'outils de logiciel Inventor Professional 2016.

B.1.1 L'interface lors d'un travail sur des esquisses 2D

Pour débuter de travailler sur des esquisses en 2D il faut choisir le type de fichier pièce (.ipt*), et bien choisir le type de la pièce.

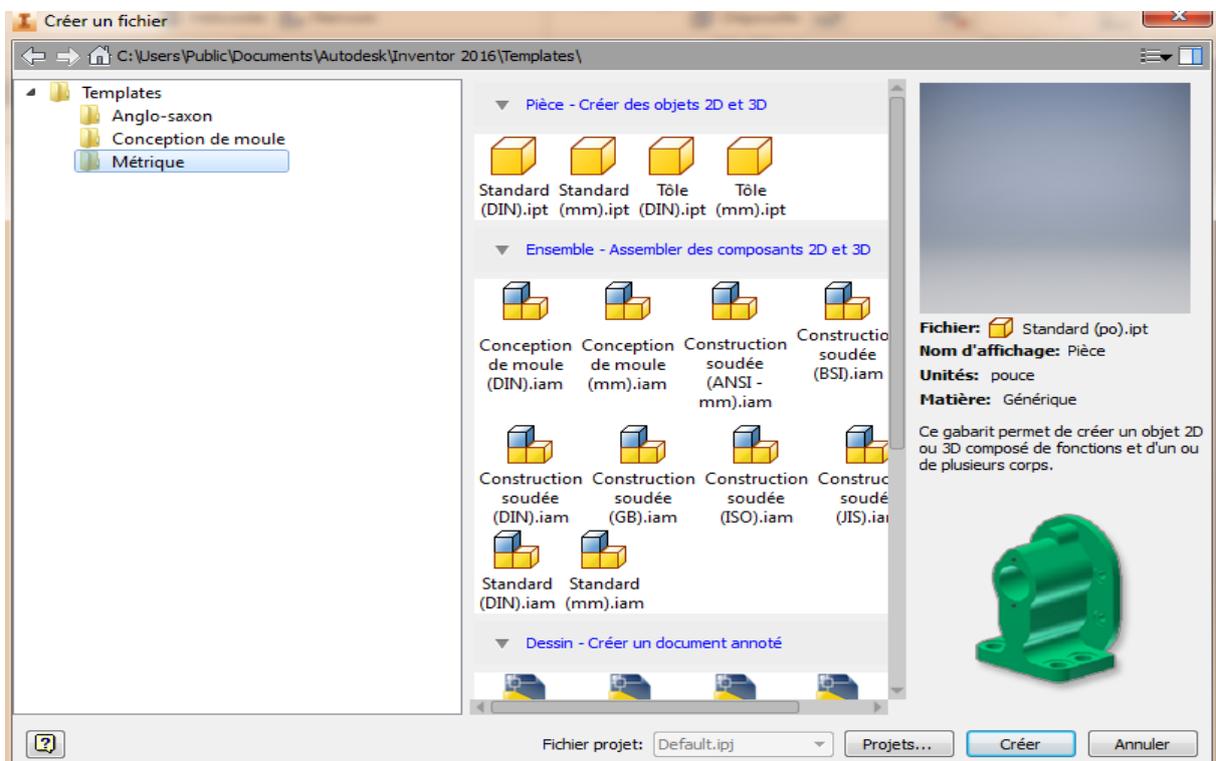


Figure B.3 : Les différents types de fichiers dans Inventor.

Les outils et les fonctionnalités incluent par default dans ce logiciel tel que :

- Les outils géométriques (ligne, cercle, point, arc, rectangle, polygone, ellipse...etc.).
- Les outils de contrainte (cote, parallélisme, perpendicularité, centralité, linéarité).
- Les outils de modification (rotation, déplacement, Copie, extension...etc.).
- Les outils d'insertion.

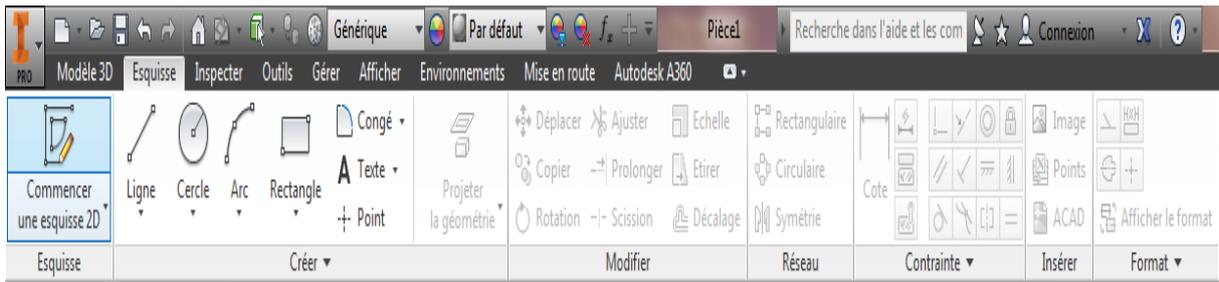


Figure B.4 : Les outils pour un dessin en 2D.

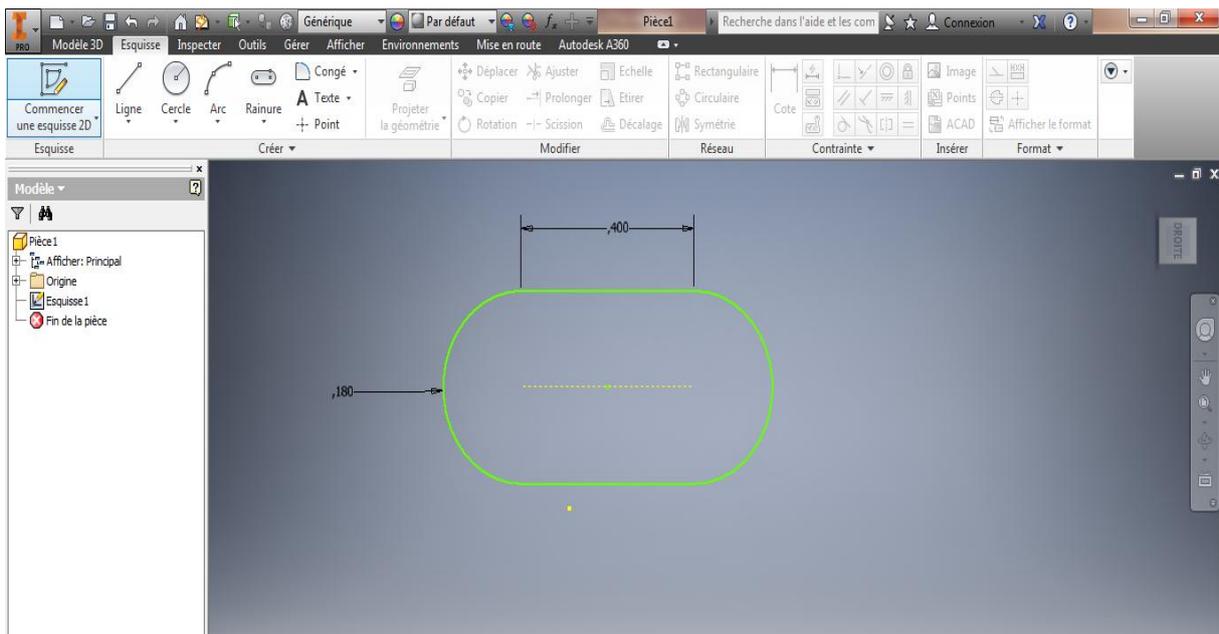


Figure B.5 : Capture d'écran lors d'une création d'une pièce en 2D.

B.1.2. L'interface lors d'une création d'une pièce en 3D

Tant que ce logiciel est un logiciel de CAO, il faut avoir donc un outil pour créer un volume virtuel (création d'une pièce en 3D). Le logiciel Inventor possède deux outils pour une création en 3D :

- L'extrusion (paramétré seulement par la hauteur)
- La révolution (paramétré par l'axe et le rayon)

Mais il y a aussi des outils pour travailler en 3D tels que :

- Les outils primitives (cube, sphère, cylindre)
- Les outils de création (gravure, loft, bobinage)
- Les outils de modification (perçage, congé, chanfrein, taraudage...)
- Les outils de surface (soudage, sculpture...)
- L'outil de conversions vers le mode tôlerie (si on est dans le mode pièce standard)
- Les outils pour les pièces plastiques.

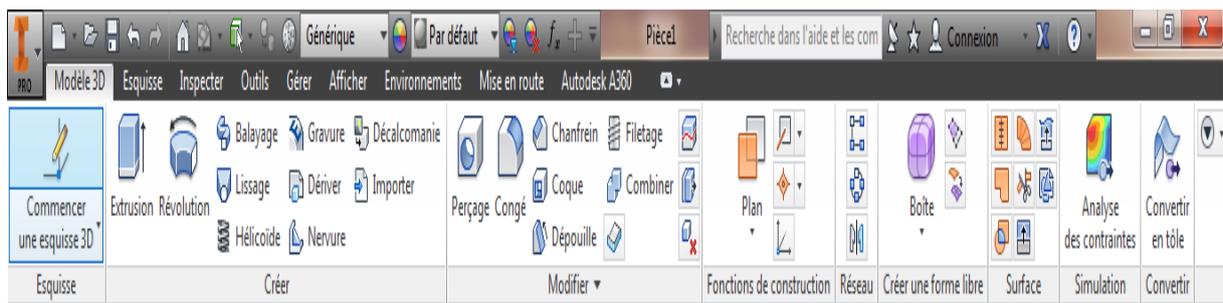


Figure B.6 : Les outils pour une création d'une pièce en 3D.

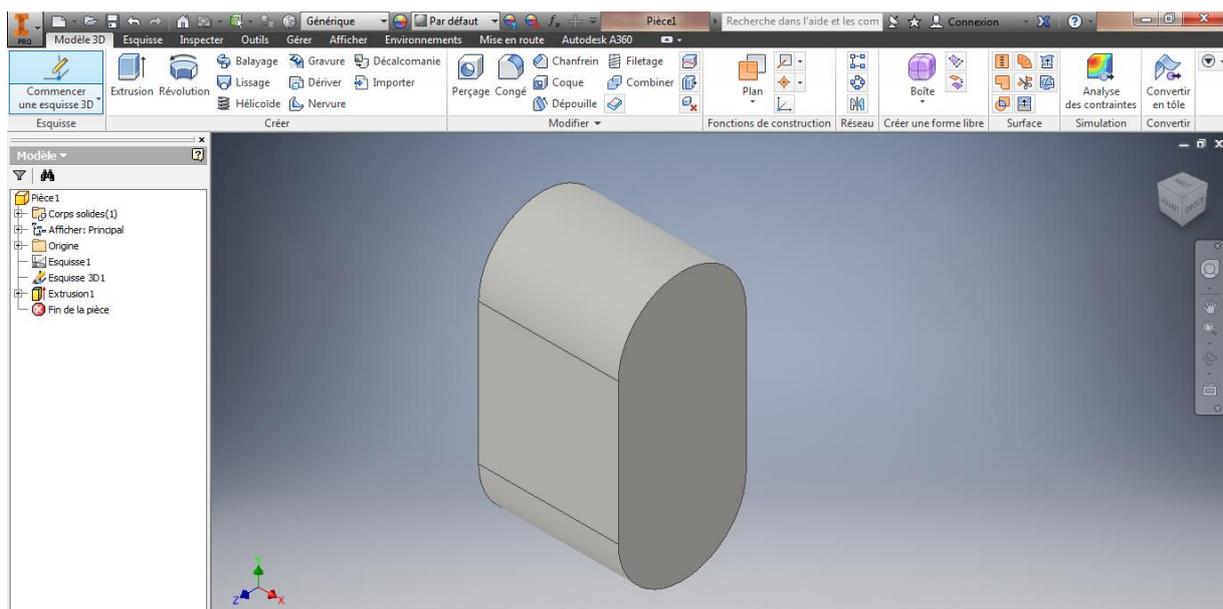


Figure B.7 : Capture d'écran lors d'un travail d'une pièce en 3D.

B.1.3. Interface d'utilisateur lors d'une création d'un assemblage

Dans ce type de fichier il ne s'agit pas de créer ou de dessiner mais il s'agit de placer les pièces ou importer à partir de la bibliothèque d'Inventor si l'assemblage a besoin de quelques éléments normalisés comme des vis, des écrous, des rondelles, des goupilles...etc.

On distingue aussi dans ce type de fichier qu'il y a d'autres outils différents tels que :

- Les outils de placement (Importation des pièces, Remplacement, Importation depuis la bibliothèque...etc.)
- Les outils de positionnement (Contraintes, Rotation, Déplacement, Attachement)
- Les outils managent (Bilan des matériaux, Paramétrage des cotations...etc.)
- Les outils pour les câbles et les pipelines
- L'outil de convertissions.

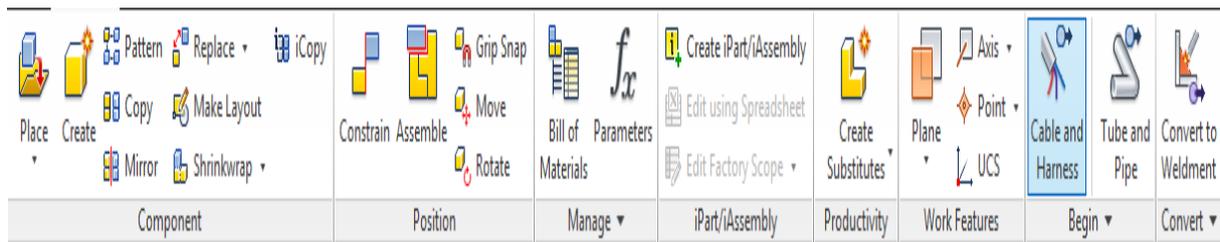


Figure B.8 : Les outils pour crée un assemblage.

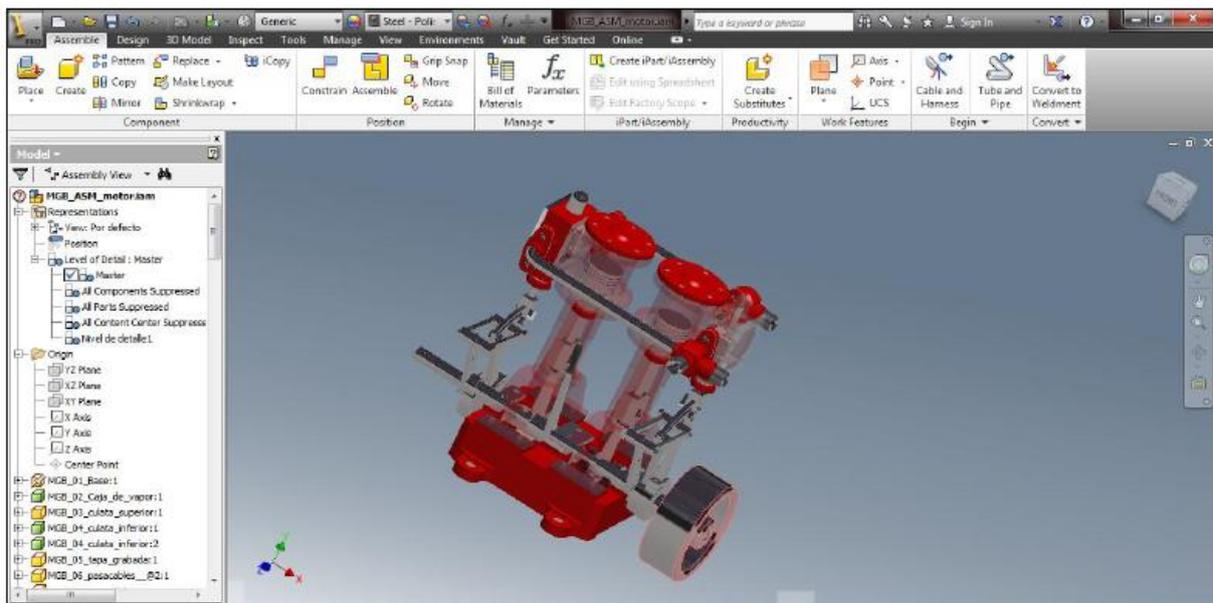


Figure B.9 : Capture d'écran d'un travail sur un assemblage.

B.1.4. Interface utilisateur lors d'une mise en plan des pièces ou assemblages

Le logiciel Inventor peut faire facilement un dessin technique d'une pièce ou un assemblage selon les normes des dessins techniques tels que le cartouche, les vues et les coupes, et l'utilisateur peuvent faire son propre dessin grâce à des outils comme :

- Les outils de création (Dessin de base, Projection, Sections, Overlay)
- Les outils de modification (Break, Break out, Slice, Crop, Horizontal)
- L'outil de création d'une nouvelle esquisse
- L'outil de création un nouveau dessin

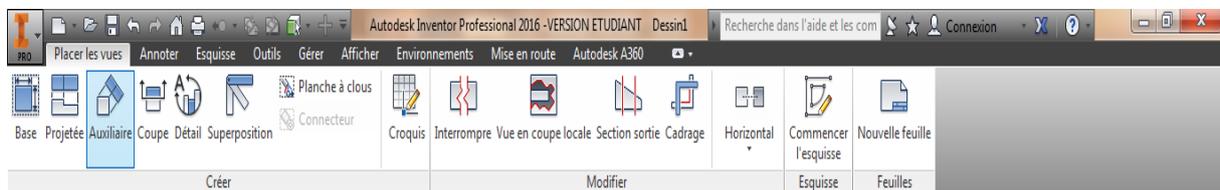


Figure B.10 : Les outils pour crée un dessin dans Inventor.

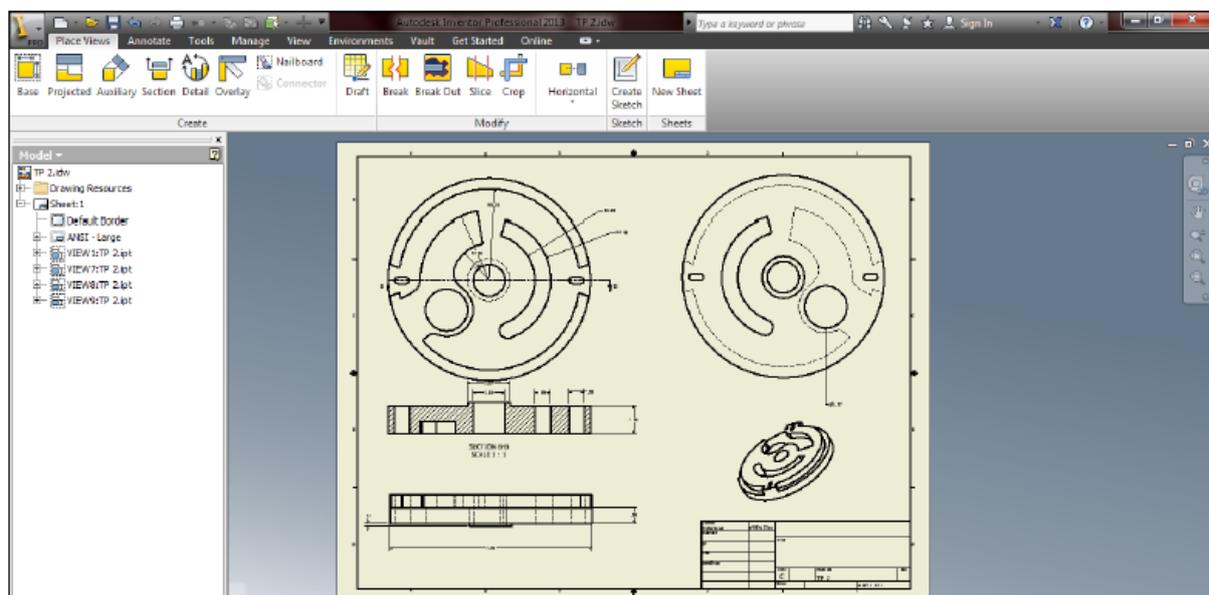


Figure B.11 : Capture d'écran lors d'un travail sur un dessin technique dans Inventor.

1. Introduction

Les engrenages sont des éléments de machines qui permettent de transférer un mouvement de rotation d'un arbre à un autre. Les systèmes engrenant sont utilisés depuis des milliers d'années et leur première application technique remonte à plus de 4500 ans. En ces temps-là, la fabrication d'un engrenage tenait plus de l'art et de l'habileté de l'artisan que de la science. Avec le temps, les applications que l'on trouve aux engrenages se multiplient, et ils deviennent vite un élément de machine très varié et indispensable pour la transmission de mouvement et de puissance. Dès le 16^{ème} siècle. Des mathématiciens commencent à se pencher sur le problème de la théorie des engrenages.

Au cours des derniers siècles, l'évolution des procédés de fabrication et de taillage, parallèlement au développement des relations mathématiques qui régissent le comportement des engrenages, a permis d'en améliorer grandement la qualité de fabrication comme de fonctionnement. De nouveaux types de dentures et d'engrenages font aussi leur apparition au cours de cette période. Parmi ceux-ci. On retrouve les engrenages coniques qui permettent de transmettre le mouvement entre deux arbres concourants.

Aujourd'hui encore. Les engrenages sont couramment utilisés et demeurent un moyen très efficace pour transmettre un mouvement de rotation et une puissance d'un arbre menant à un arbre mené. On trouve plusieurs types d'engrenages, dont quelques-uns sont représentés sur la figure 1.1. On distingue trois grandes classes d'engrenages. Ces classes sont divisées selon la position relative des axes des arbres en rotation. La première classe concerne les engrenages aux axes parallèles. On inclut dans cette catégorie les engrenages cylindriques droits et les engrenages cylindriques hélicoïdaux. Ces derniers, pour des dimensions similaires, permettent d'obtenir un rapport de conduite plus élevé.

Les engrenages coniques, quant à eux. Permettent la transmission du mouvement de rotation entre deux arbres concourante. Ceux-ci peuvent comporter une denture droite. Inclivée ou spirale Ces engrenages coniques à denture spirale sont appelés spiro-coniques [1].

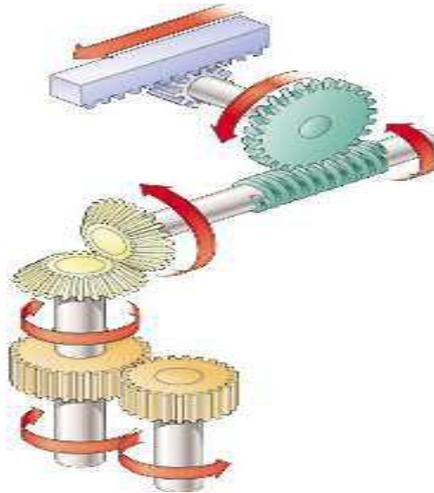


Figure 1.1 : Types d'engrenages.

Il existe plusieurs types d'engrenages (voir Annexe A), nous nous intéresserons dans notre travail aux engrenages conique et spiro-conique

2. L'utilisation des engrenages coniques [1]

Les engrenages coniques sont utilisés dans une multitude de domaines, dont les principaux sont l'industrie automobile. La robotique ainsi que l'aéronautique. Les exigences varient beaucoup d'un champ d'application à un autre. Dans l'industrie automobile, le but visé est une production en série à faible coût et un faible niveau de bruit en fonctionnement. La robotique quant à elle requiert une grande précision de fabrication des engrenages pour assurer une transmission du mouvement régulière et précise, Ainsi que de petites dimensions des membres. Finalement, l'industrie aéronautique demande des engrenages qui sont légers occupent peu d'espace, Qui engendrent un minimum de bruit et pouvant transmettre des puissances très élevées à haute vitesse. Ces exigences ne peuvent être comblées qu'avec une excellente compréhension des engrenages accompagnée de bon outils tant au niveau de la conception que de la fabrication et de l'inspection.

3. Les engrenages coniques [2]

C'est un groupe important utilisé pour transmettre un mouvement entre deux axes non parallèles dont les axes sont concourants (figure 1.2). Les axes à 90° sont les plus courants. Les surfaces primitives ne sont plus des cylindres mais des cônes (cônes primitifs). Les cônes sont tangents sur une ligne MM' et leur sommet commun est le point S. c'est aussi le point d'intersection des axes de rotation des 2 roues.

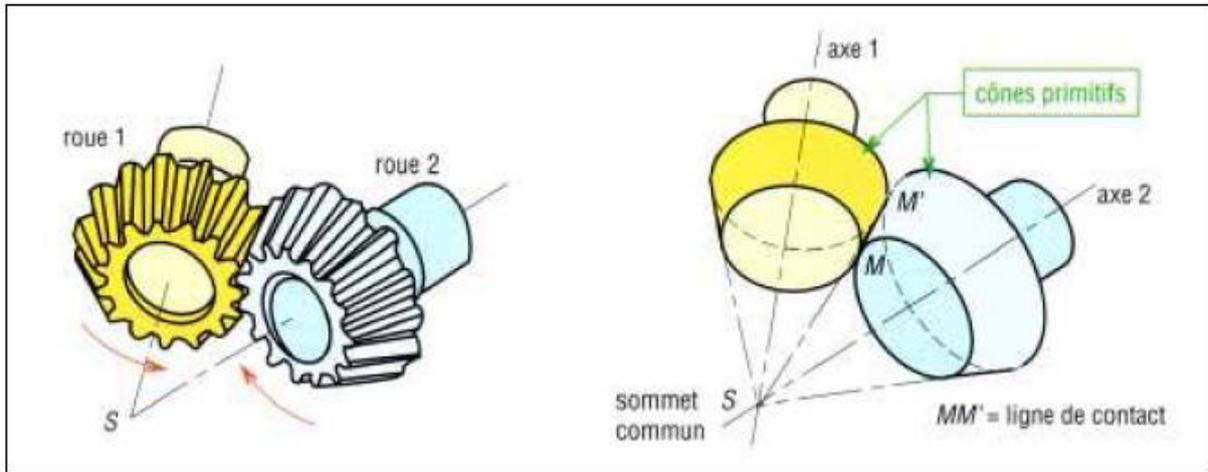


Figure 1.2 : Caractéristiques d'engrenage à axes concourants.

Dans cette catégorie d'engrenage en retrouve les engrenages coniques droits, hélicoïdaux et spiro-coniques. Pour les deux premiers types, le profil de denture est en développante sphérique (denture théorique) ou en octoïde de 1^{ere} ou 2^{ème} espèce (denture pratique). Pour les engrenages spiro-coniques, le profil de denture est défini à partir de la roue plate génératrice dont le profil de denture est un arc de cercle pour la denture Gleason, une développante de cercle pour la denture Klingelnberg, une épicycloïde allongée pour la denture Oerlikon (figure 1.3).

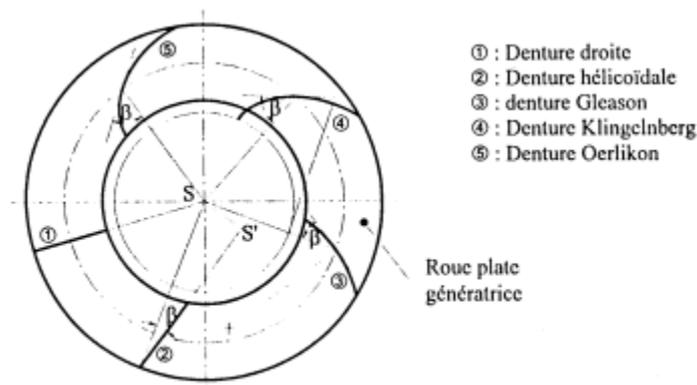


Figure 1.3 : Les différents types de dentures coniques.

Chapitre 1 Génération des engrenages coniques

Trois systèmes majeurs sont distingués dans la fabrication des engrenages spiroconiques :

- Le système Gleason : la hauteur de denture est généralement variable et la forme de la courbe directrice est un arc de cercle (Figure 1.4_a). Ce choix conduit à un développement de denture qui se réalise par étapes, chacun des creux de dents étant réalisé l'un après l'autre. Les flancs de denture convexes et concaves sont taillés par des outils différents.
- Le système Oerlikon : la hauteur de denture est constante et la forme de la courbe directrice est un arc d'épicycloïde (Figure 1.4_b). Le développement de la dent est continu. Une fraise porte tous les outils coupants pour la réalisation des deux flancs d'une dent.
- Le système Klingelnberg : cette méthode est issue du système Oerlikon. Deux cercles sont présents (Figure 1.5), chacun roulant sur son propre cercle de base. Ainsi, une fraise double est utilisée dans le développement, deux groupes d'outils coupants étant fixés à cette fraise pour le taillage des flancs convexes et concaves du creux. Ce système est appelé le système Cyclo-Palloïde. [3]

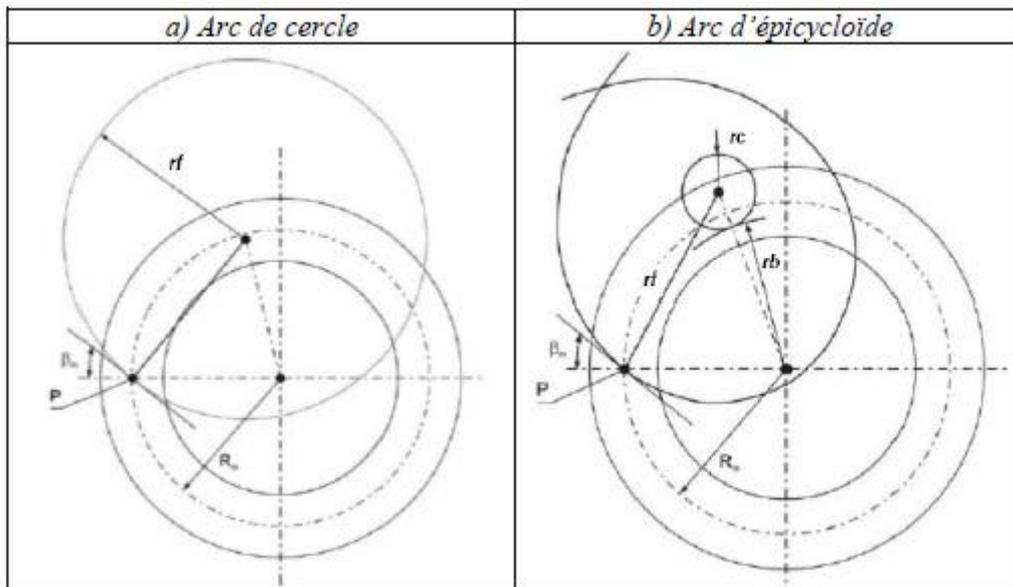


Figure 1.4 : Courbes directrices.

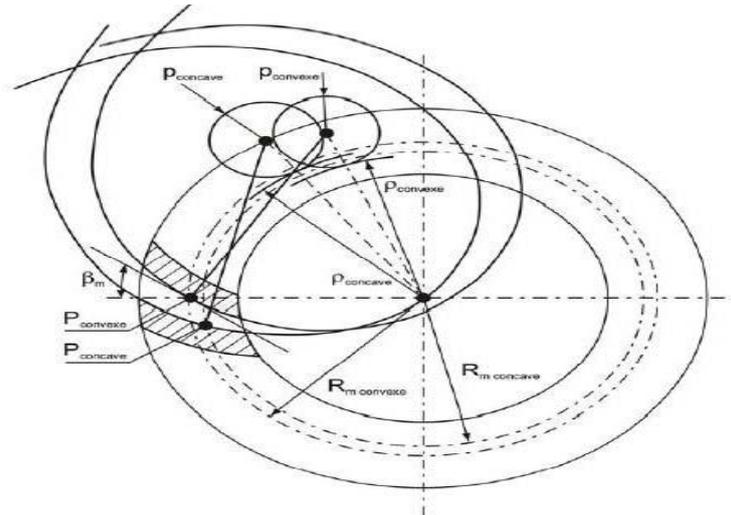


Figure 1.5 : Le système Cyclo-Palloïde Klingelnberg.

4. Fabrication des engrenages coniques

Quelques soit le type d'engrenages nous un mouvement de coupe (M_c) et le mouvement de pénétration (M_p) et d'avance (M_f) les différentes techniques concernant les engrenages à axes parallèle sont développer en Annexe A.

4.1 Méthodes de taillage [3]

Il existe le taillage par génération ou sans génération

4.1.1 Taillage avec génération

La Figure 1.6 schématise un exemple de cycle de taillage avec génération, dans lequel les deux flancs d'un creux sont usinés en même temps à l'aide d'une fraise à tranchants alternés (génération pour le taillage d'une roue). Pour le taillage du pignon, les deux flancs sont généralement taillés séparément.

Le cycle de taillage est défini en 5 étapes :

- La roue est avancée sur la fraise jusqu'à la profondeur souhaitée,
- Un mouvement de génération permet de réaliser l'ébauche (la roue tourne en même temps que la fraise se déplace).
- Avance de plongée de la roue jusqu'à la profondeur de finition.
- Inversion du sens de mouvement de génération pour la finition complète du creux.
- Dégagement de la roue pour l'exécution du mouvement de division (rotation de la roue seule pour usiner un nouveau creux).

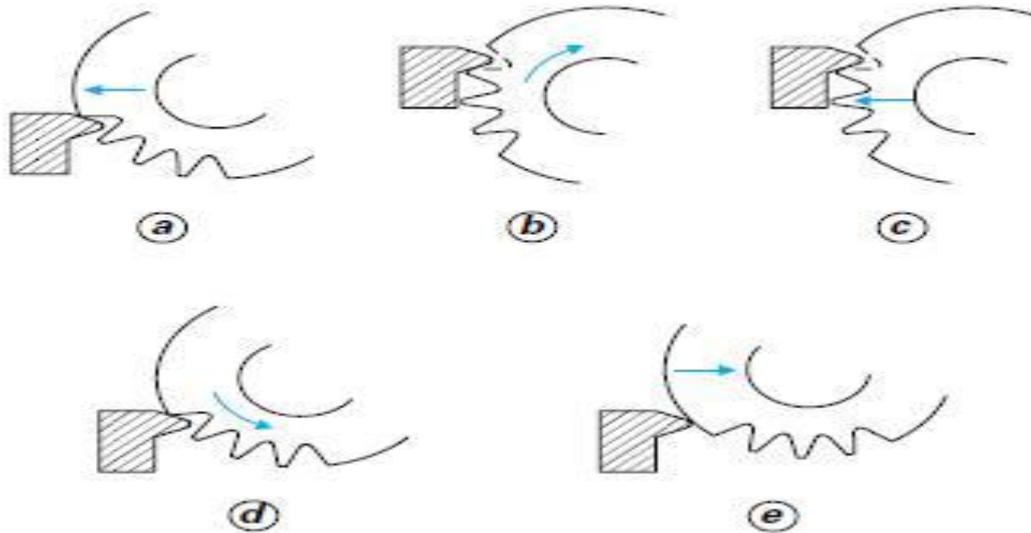


Figure 1.6 : Cycle de taillage avec génération.

4.1.2 Taillage sans génération

La Figure 1.7 présente les trois phases du taillage d'un creux sans génération, par simple plongée de la fraise dans la roue. C'est une méthode de taillage très rapide généralement utilisée pour les très grandes séries, et utilisant une fraise de forme. Les 3 étapes du cycle sont les suivantes :

- Mise en position de la fraise,
- Plongée de la fraise dans la roue,
- Dégagement rapide de la fraise, pour exécuter le mouvement de division.

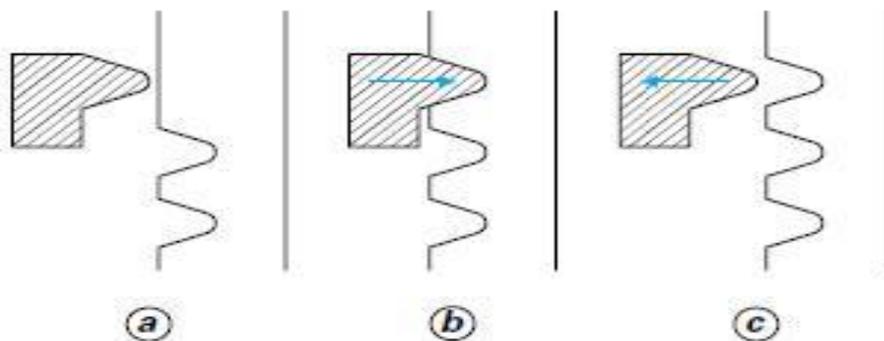


Figure 1.7 : Cycle de taillage sans génération.

4.2 Génération des dentures pour les engrenages spiro coniques

La méthode par génération des engrenages spiro conique est une méthode de fabrication les plus complexes, étant donné que ces engrenages ont une géométrie qui n'est constante dans aucune direction. En effet, l'épaisseur de la dent évolue d'un bout à l'autre de la denture, tout comme la spirale, ou encore la hauteur.

Dans un premier temps, les engrenages spiro-coniques sont taillés sur des machines spéciales. Selon les constructeurs (Gleason, Klingelnberg, ou Oerlikon), ces machines de taillages sont différentes, et ne fonctionnent pas de la même manière. Le traitement thermique des engrenages provoque des déformations superficielles des surfaces de denture. Afin de corriger ces déformations, une nouvelle phase de fabrication est opérée : la rectification. Les rectifieuses sont des machines différentes de celles réalisant le taillage tout comme les outils.

4.3 Les machine de taillages des engrenages spiro-conique

4.3.1 Taillage par la machine Gleason

Les fraises de taillage sont constituées d'un tourteau cylindrique à la périphérie duquel sont fixées des lames à tranchants inclinés, généralement rectilignes, c'est-à-dire engendrant une surface latérale de cône de révolution.

Les machines Gleason sont à « génération discontinue », c'est-à-dire que les creux de dents sont taillés les uns après les autres. La Figure 1.8 représente une fraise Gleason taillant un pignon à denture spirale.

La méthode proposée est basée sur les travaux de Litvin, et permet de retrouver les coordonnées d'un point appartenant à la surface de la dent d'une roue de type Gleason usinée par « Face-Milling », selon des mouvements machines qui seront détaillés par la suite.

Ces mouvements sont par ailleurs ramenés à un cas simple, tous les mouvements de génération du cas de l'UMC (Universel Motion Concept, cf. Figure 1.8) n'étant pas pris en compte. Le but de ce travail étant de permettre une étude d'engrenages spiro-coniques à partir de données simples, il a été décidé de se référer à la norme NF ISO 23509 pour en détailler la géométrie.

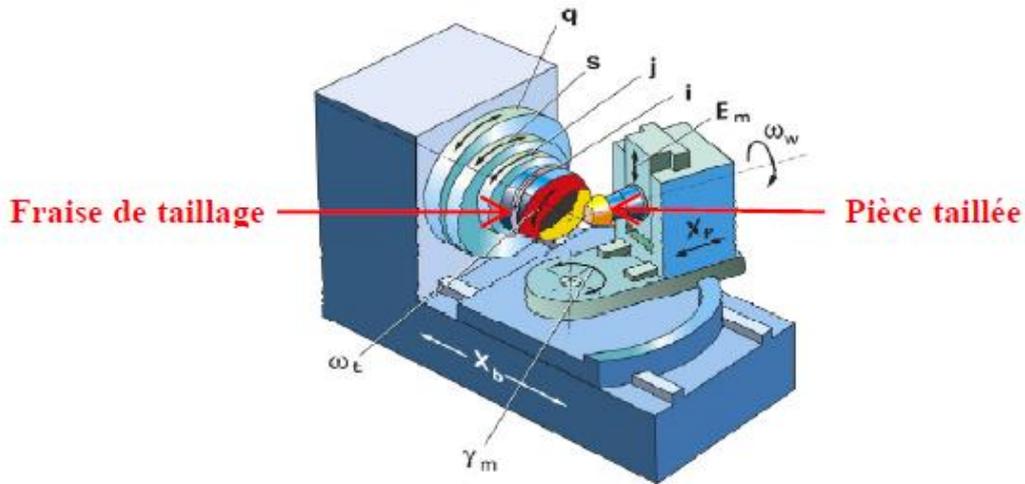


Figure 1.8 : La machine de taillage Gleason.

4.3.2 Outils

L'outil réel (Figure 1.9) est formé de couteaux fixés sur un support en rotation indépendant du mouvement de coupe. Les couteaux extérieurs permettent le taillage des flancs concaves des creux de l'engrenage, alors que les couteaux intérieurs taillent les flancs convexes.

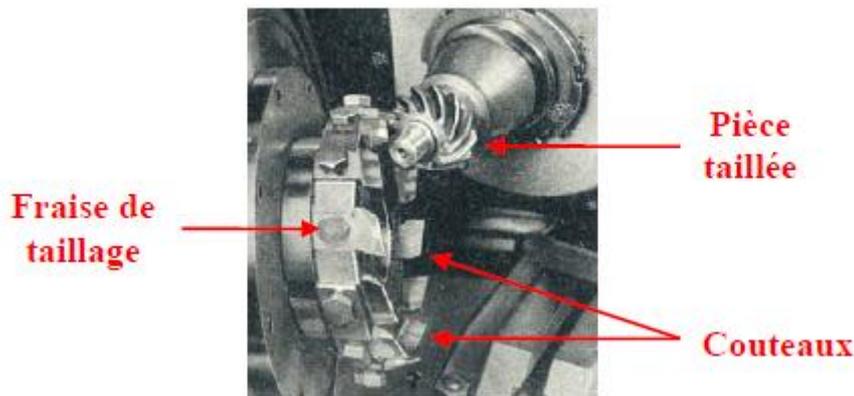


Figure 1.9 : Fraise de taillage des engrenages spiro-coniques Gleason.

4.3.3 Mouvement de génération

Le mouvement de génération sera ici limité à deux mouvements dans le repère de la machine : un mouvement de rotation du berceau (support de l'outil) autour de l'axe $xm2$, et un mouvement de rotation de la roue taillée autour de l'axe $z2$ (Figure 1.10). Ces deux rotations sont liées par un rapport constant : $mP2$. L'outil, ayant un rayon moyen $rc0$, tourne sur lui-même autour de son axe xs .

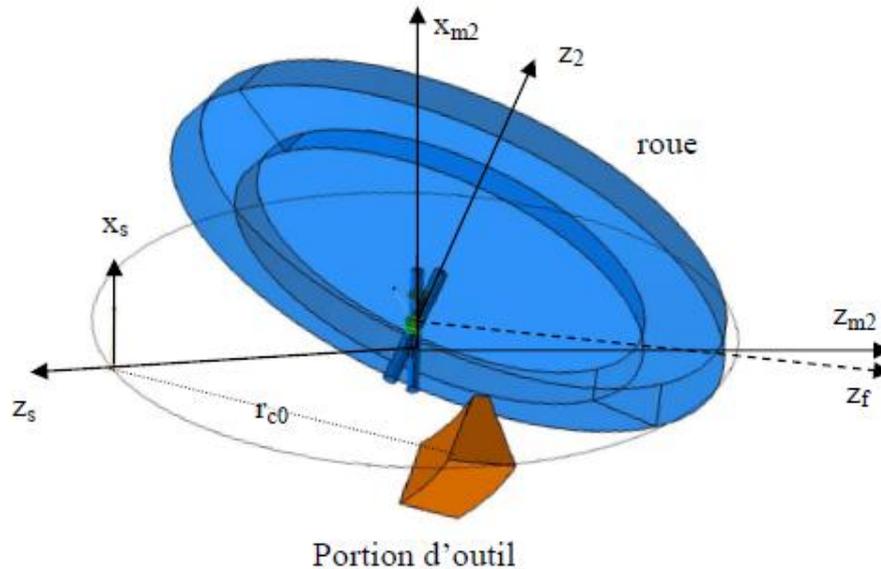


Figure 1.10 : Repères liés aux différents éléments, lors du taillage.

Les différents repères sont définis comme suit :

- R_{m2} (x_{m2} , y_{m2} , z_{m2}) : lié à la machine, x_{m2} étant l'axe de rotation du berceau.
- R_f (x_f , y_f , z_f) : lié à la machine, z_f étant orienté suivant la génératrice primitive de la Roue.
- R_s (x_s , y_s , z_s) : lié à la fraise, x_s étant l'axe de la fraise.
- R_2 (x_2 , y_2 , z_2) : lié à la roue, z_2 étant l'axe de la roue.

4.3.4 Calcul de l'enveloppe

A partir des différents mouvements de la machine de taillage, il est possible d'obtenir les profils de denture par la méthode des enveloppes. L'équation d'une enveloppe est généralement obtenue mathématiquement sous la forme suivante :

$$\begin{cases} \overline{OM_e} = \overline{OM_e}(\alpha, \beta, \gamma) \\ f_e(\alpha, \beta, \gamma) = 0 \end{cases}$$

Où l'on a :

- M_e : un point de l'enveloppe.
- α et β : deux paramètres décrivant la position du point sur l'outil dont on recherche l'enveloppe.
- γ : un paramètre de position de l'outil.
- f_e : l'équation de l'enveloppe liant ces paramètres et obtenue de part la

Chapitre 1 Génération des engrenages coniques

considération suivante :

$$\overrightarrow{V_m^o} \cdot \overrightarrow{n_o} = \overrightarrow{V_m^e} \cdot \overrightarrow{n_o}$$

où :

- V : vecteur vitesse en un point,
- n : la normale en ce même point.
- e : repère lié à l'enveloppe.
- m : repère lié à la machine.
- o : repère lié à l'outil.

Ces différentes vitesses et normales peuvent être obtenues assez facilement, à partir des mouvements de la machine de taillage. Il sera cependant nécessaire de dissocier les deux parties de l'outil (partie conique et partie théorique), ce qui nous mène à la définition de deux équations d'enveloppes.

4.3.4.1 Partie conique

Les flancs actifs de dentures sont taillés par la partie conique de l'outil. Le cône est défini par les deux paramètres :

- rcP : distance du point de référence du cône par rapport à son axe,
- α_P : angle du cône, qui définira l'angle de pression du flanc de denture.

Tout point P de ce cône est défini par deux paramètres supplémentaires :

- u_P : distance du point par rapport au sommet du cône,
- θ_P : angle caractérisant la position du point par rapport à l'axe z_s .

Tous ces paramètres sont représentés sur la Figure 1.11.

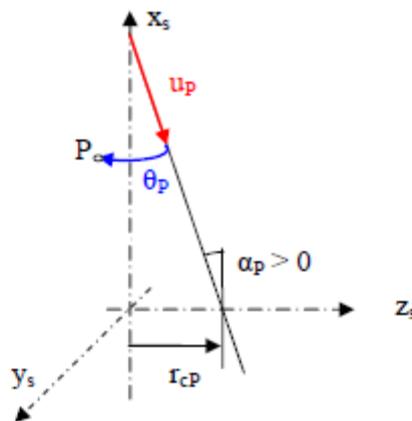


Figure 1.11 : Géométrie du cône de l'outil.

4.3.4.2 Partie torique

Le schéma de la Figure 1.12 présente les paramètres permettant de caractériser un point de la surface du tore. Afin de définir un tore, trois paramètres sont nécessaires :

- dz : rayon du cercle principal du tore,
- R : rayon du petit cercle générant le profil du tore,
- dx : position du tore dans le repère de l'outil, selon l'axe x_s .

Deux paramètres supplémentaires sont nécessaires pour définir un point P sur le tore :

- γ_t : angle définissant la position du point sur le petit cercle, par rapport à z_s ,
- θ_t : angle définissant la position du point sur le grand cercle, par rapport à z_s .

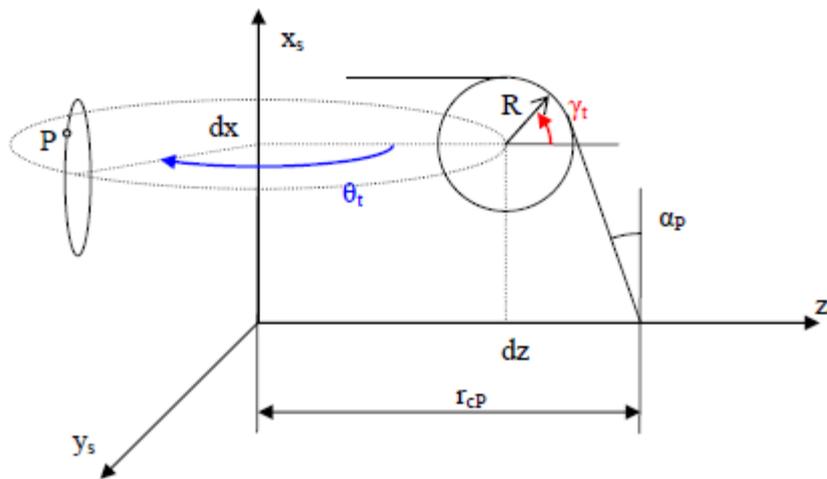


Figure 1.12 : Géométrie du tore de l'outil.

4.4 Taillage par la machine Oerlikon

Les dentures taillées selon le procédé Oerlikon possèdent apparemment la même allure que celles taillées selon le procédé Gleason. Les deux procédés présentent pourtant des différences essentielles, dont voici les principales :

- Le taillage est effectué suivant le principe de « génération continue », ce qui signifie que toutes les dents sont taillées en même temps, et se trouvent à chaque instant dans le même état d'usinage. La Figure 1.13 montre un exemple de taillage d'un pignon au tout début (a), pendant (b) et à la fin (c) du processus de génération.
- Les outils Oerlikon sont également constitués d'un tourteau cylindrique, mais la répartition des lames à la périphérie est quelque peu différente de celles des Gleason. En effet, la fraise est composée d'un certain nombre de groupes identiques d'outils.

Chapitre 1 Génération des engrenages coniques

La rotation étant uniforme, un groupe d'outils pénètre dans un flanc de denture taillée, tandis que le groupe suivant doit pénétrer dans le flanc suivant.

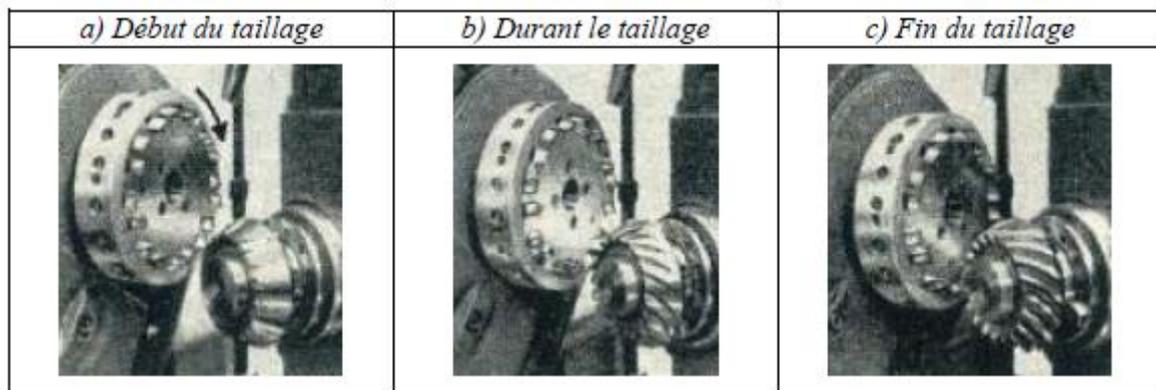


Figure 1.13 : Taillage d'un pignon de type Oerlikon.

4.5 Taillage par la machine Klingelnberg

D'un point de vue géométrie, les dentures Klingelnberg sont très proches de celles des engrenages Oerlikon. Cependant, elles s'écartent radicalement des dentures Gleason et Oerlikon pour ce qui est de l'outil de taillage. En effet celui-ci est une fraise mère conique (Figure 1.14).

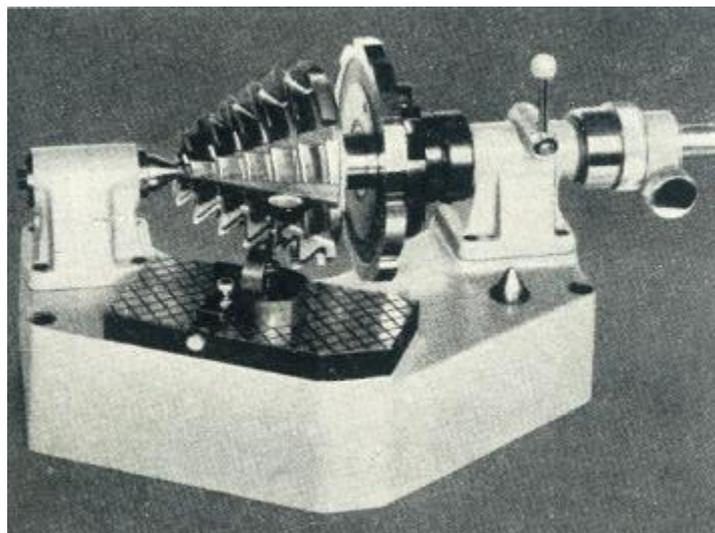


Figure 1.14 : Fraise mère conique.

Chapitre 1 Génération des engrenages coniques

Tout comme les engrenages de type Oerlikon, la méthode de taillage est à « génération continue ». La Figure 1.15 montre un exemple de taillage d'une roue au tout début (a), pendant (b) et à la fin (c) du processus de génération.

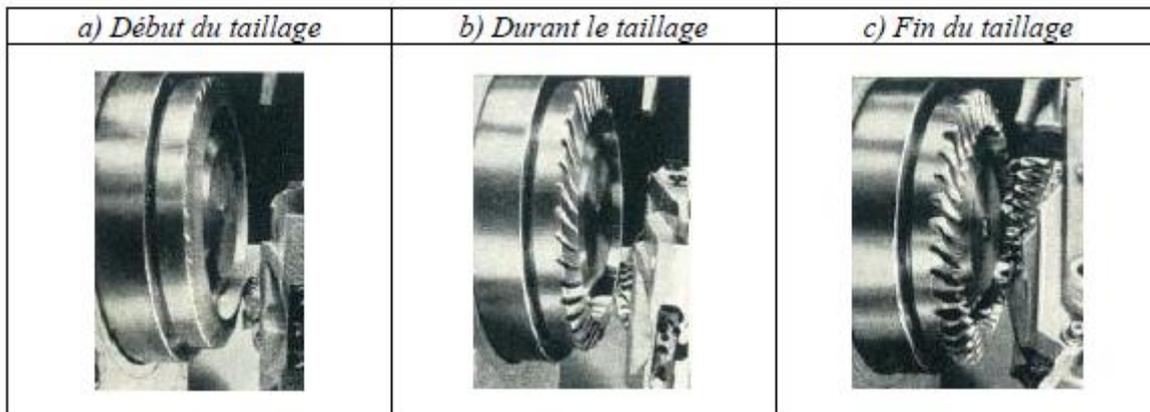


Figure 1.15 : Taillage d'une roue de type Klingelberg.

4.6 Rectification

La rectification est la technique utilisée pour ce genre d'engrenage. Une fois les dents taillées, elles sont la plupart du temps traitées thermiquement, ce qui induit de légères déformations des flancs de dents. Afin d'obtenir la géométrie finale précise des dents d'engrenages spiro-coniques, il est nécessaire d'utiliser des rectifieuses, qui ont la particularité d'utiliser des meules abrasives plutôt que des fraises à tailler. La Figure 1.16 présente des rectifieuses, commercialisées par Gleason (a) ou Klingelberg (b). La particularité de la rectifieuse WNC 80 (Figure 1.16_b) de la société Klingelberg est qu'elle permet de rectifier différents types de dents : Klingelberg, Gleason ou Oerlikon.

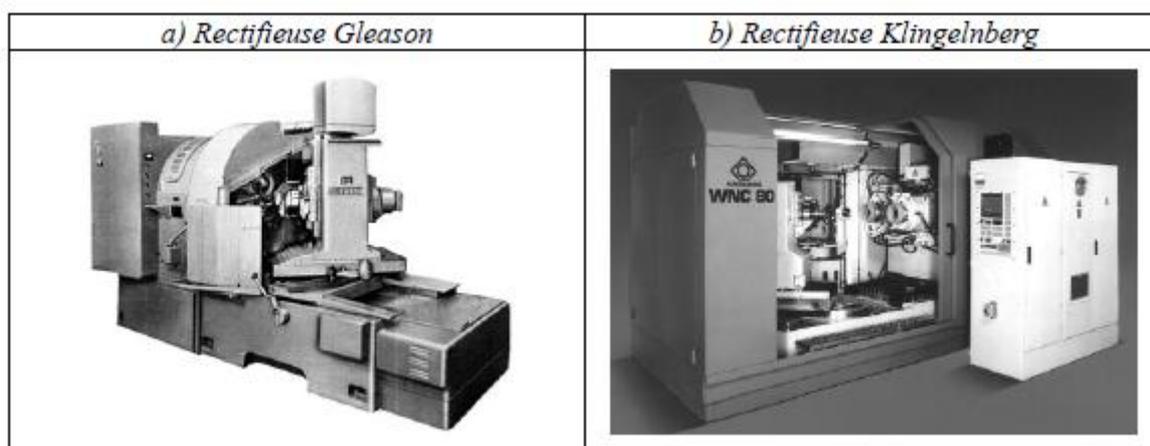


Figure 1.16 : Différents types de rectifieuse meule « Boisseau »

5. Méthodes de définition des surfaces d'engrènement

Afin de pouvoir réaliser un modèle numérique permettant de simuler le comportement d'un engrenage spiro-conique, il est primordial de définir précisément les profils de denture. Pour cela, la plupart des travaux existants proposent de définir ces profils en se basant sur la cinématique des machines qui les ont taillées. D'autres profils de denture totalement théorique et analytique peuvent cependant être développés. Il n'est par contre pas possible de les tailler sur les machines de fabrication d'engrenages spiro-coniques standards.

5.1 Les méthodes Gleason/ Klingelnberg/Oerlikon

Les flancs de denture générés par Gleason, Klingelnberg, ou Oerlikon ne peuvent pas être obtenus par une définition mathématique directe. Il est nécessaire de simuler les mouvements des machines de taillage, et de prendre en compte tous les outils et les lois de déplacements. Afin d'obtenir la géométrie simulée, les auteurs utilisent des modèles géométriques variés. Cependant, tous ces travaux se basent sur la méthode des enveloppes c'est-à-dire que la géométrie est définie par l'enveloppe obtenue lors de la trajectoire des outils. Un des modèles employés dans ces travaux est présenté sur la Figure 1.17 (a et b).

Ces modèles permettent d'obtenir les coordonnées des surfaces de dentures à partir de la définition géométrique des outils et de la cinématique des machines de taillage. Ainsi, l'utilisation de ces coordonnées permet l'obtention d'un solide dans un logiciel de CAO (Figure 1.17 c). Il est alors simple d'obtenir les caractéristiques volumiques des éléments de l'engrenage (volume, masse, centre de gravité, moments d'inertie, etc.).

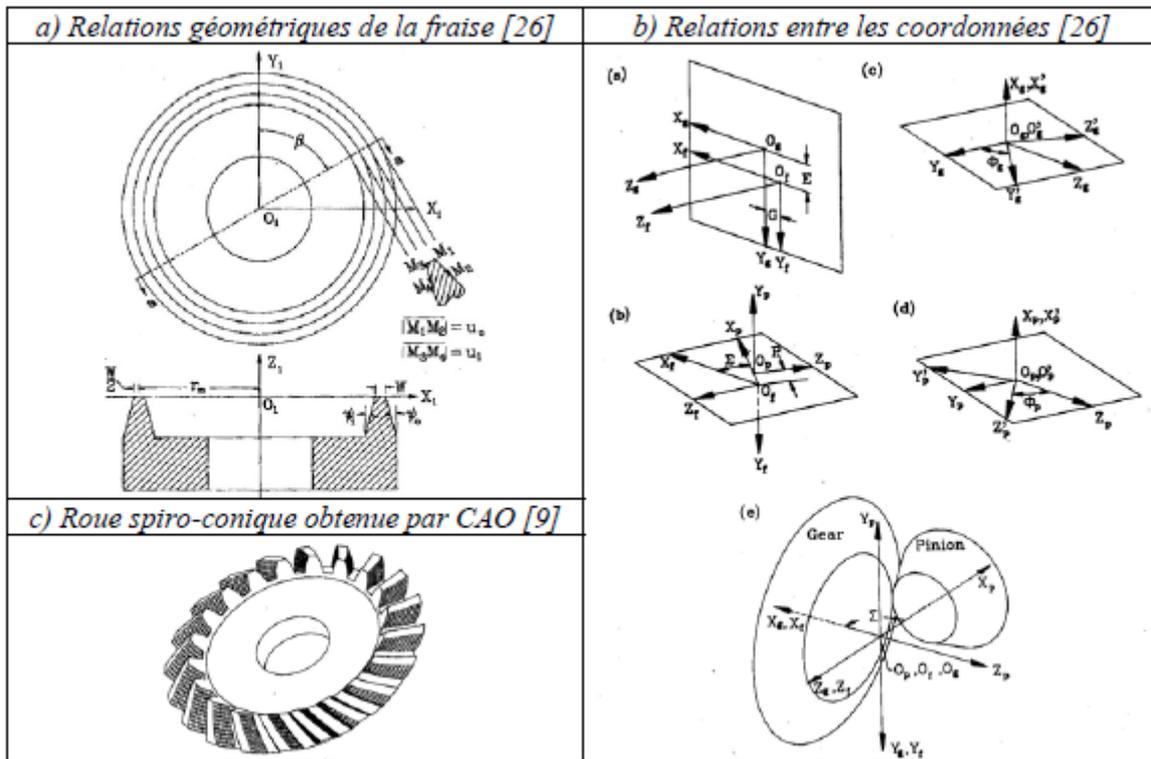


Figure 1.17 : Modèle géométrique et CAO.

6. CONCLUSION

Les engrenages spiro-conique sont parmi les composantes clés de l'industrie de transport en général. Cette étude se concentre sur les engrenages spiro-conique. Ils sont utilisés dans diverses applications mécaniques. Leur histoire est très étroitement liée au début et au développement de l'automobile. Les engrenages spiro-coniques sont réalisés avec des méthodes de taillage des engrenages parmi les plus complexes. Les formes de denture sont directement liées au développement des machines et des outils de fabrication des constructeurs actuels : Gleason, Klingelnberg et Oerlikon. La conception des différents types d'engrenages spiro-coniques dépend de la méthode de génération appliquée.

1. introduction [3]

Les engrenages spiro-coniques sont un cas particulier des engrenages coniques. Ils sont donc définis par un ensemble de paramètres communs à tous les engrenages coniques qui définit leur « carte d'identité géométrique » indiqué par à la Figure 2.1. La génération de la denture conique s'effectue à partir d'une roue plate génératrice, indiqué par la figure 2.1 fournit une représentation du cône primitif d'une roue taillée, d'axe XI , tangent suivant SI au plan primitif P de la « roue plate génératrice » tournant autour de XO .

La forme de denture de la « roue plate génératrice » permet de définir trois principaux types de dentures :

- Denture droite (Figure 2.2_a) : dent prismatique passant par le sommet S du cône primitif de la pièce.
- Denture hélicoïdale (Figure 2.2_b) : dent prismatique passant par le sommet S' , décalé par rapport au sommet S d'un angle β .
- Denture spirale (Figure 2.2_c) : surface d'égale pente, formée par des segments également inclinés par rapport au plan primitif P , s'appuyant sur une courbe directrice v caractérisant le type de denture.
- La seconde géométrie proposée est basée sur des considérations purement théoriques et analytiques. Elle est donc générée en faisant abstraction des mouvements des machines des constructeurs actuels. Avec l'utilisation de ces profils analytiques, on essaiera de diminuer les principaux défauts des engrenages spiro-coniques standards.

Chapitre 2 Géométrie des engrenages spiro-conique

Angle des axes	Σ
Angle primitif	δ
Diamètre primitif	D
Angle de tête	δ_a
Diamètre de tête	d_a
Angle de pied	δ_f
Diamètre de pied	d_f
Largeur de denture	B
saillie	h_a
Angle de saillie	v_a
Creux	h_f
Angle de creux	v_f
Hauteur	H
Angle de Hauteur	v
Génératrice primitive	R
Génératrice moyenne	R_m

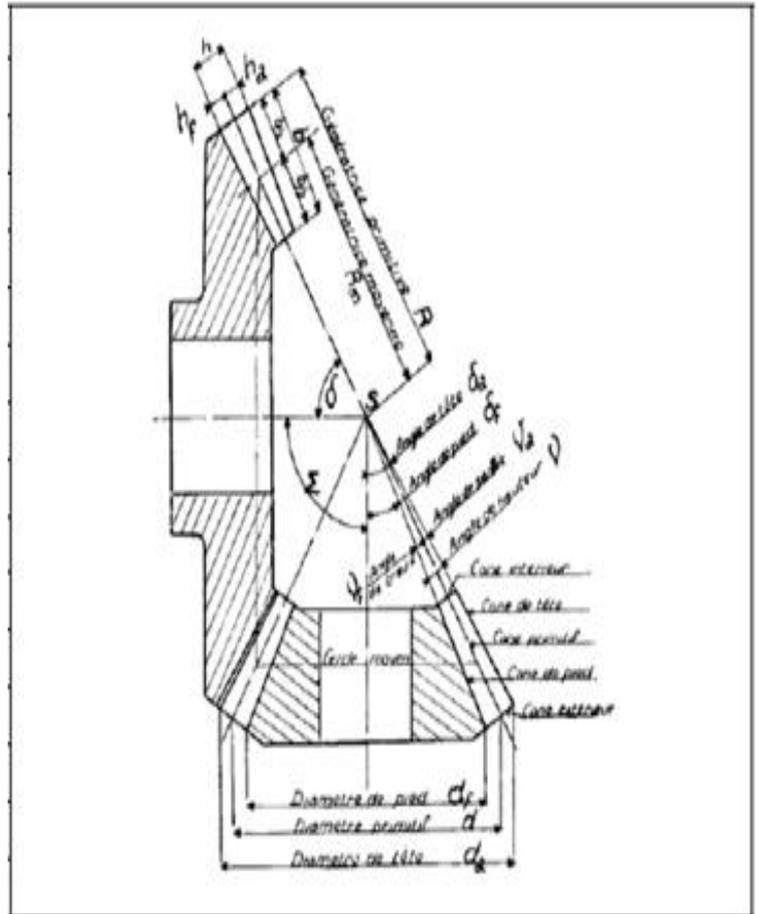


Figure 2.1 : Géométrie d'un engrenage conique. Avec ces caractéristiques

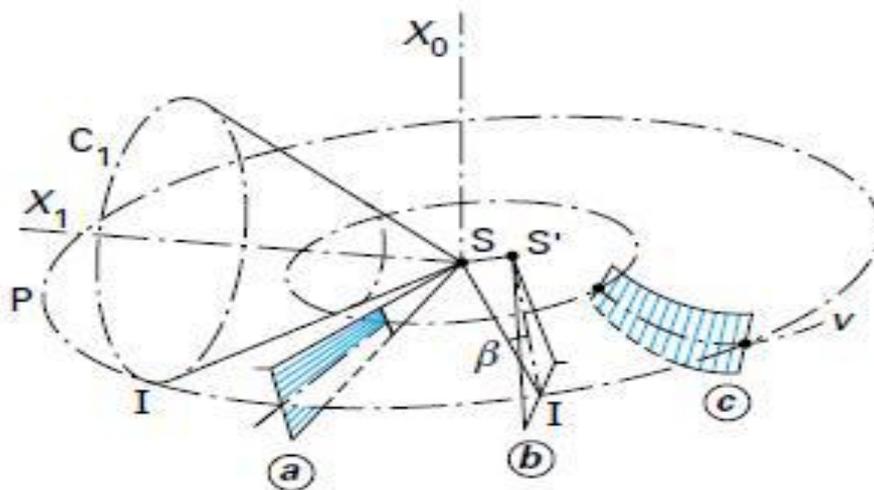


Figure 2.2 : Roue plate génératrice de taillage des roues coniques.

Chapitre 2 Géométrie des engrenages spiro-conique

Afin de compléter la définition des engrenages spiro-coniques, trois principales dispositions de denture peuvent être définies, toutes comportant une spirale :

- la denture « Zerol » (Figure 2.3_a), cas particulier de la denture « Spirale », avec angle de spirale nul.
- la denture « Spirale » (Figure 2.3_b), pignon et roue d'un engrenage à axes concourants
- la denture « Hypoïde » (Figure 2.3_c), pignon et roue d'un engrenage à axes décalés.

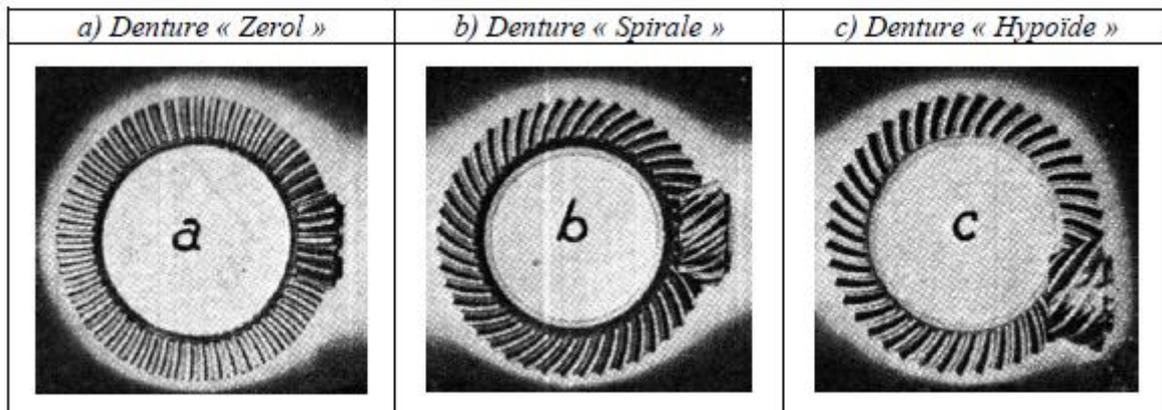


Figure 2.3 : Différents types d'engrenages spiro-coniques.

La conception des différents types d'engrenages spiro-coniques dépend de la méthode de fabrication utilisée. On peut diviser fondamentalement ces engrenages en deux classes majeures, dont la première différence concerne la variation (ou non) de la hauteur de la denture, et la seconde est le type de courbe directrice v sur la « roue plate génératrice ».

2. Définition des paramètres coniques droits et spiro-coniques

Voilà les tableaux qui résument les principaux des engrenages coniques droits et spiro-conique.

désignation	symbole	valeur
Module	m	Déterminer par un calcul de résistance des matériaux
Nombre des dents	Z	Nombre entier positif lié aux conditions de fonctionnement et de fabrication
Pas	p	$p = \pi \cdot m$
Angle entre les arbres	Σ	Fonction de l'architecture du système
Rapport de transmission	i	$i = N_1 / N_2 = \omega_1 / \omega_2 = Z_2 / Z_1 = d_2 / d_1$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot Z$
Angle primitif	δ	$\tan \delta_1 = Z_1 / Z_2 = N_2 / N_1$ $\tan \delta_2 = Z_2 / Z_1 = N_1 / N_2$
Saillie de la dent	ha	$ha = m$
Creux de dent	hf	$hf = 1.25m$
Hauteur de la dent	h	$h = 2.25m$
Epaisseur de la dent	s	$s = p/2 = \pi \cdot m/2$
Intervalle de la dent	e	$e = p/2 = \pi \cdot m/2$
Largeur de denture	b	$b = km$ (k compris entre 8 et 10, souvent 10)
Diamètre de tête	da	$da = d + 2 ha \cdot \cos \delta = m (Z + 2 \cos \delta)$
Diamètre de pied	df	$df = d - 2hf \cdot \cos \delta = m (Z - 2.5 \cos \delta)$
Angle de pression	α	Généralement $= 20^\circ$

Tableau 2.1

Chapitre 2 Géométrie des engrenages spiro-conique

désignation	Symbole	Valeur
Angle d'hélice	β	Valeur comprise entre 15° et 30°
Sens de d'hélice		Si le pignon à une hélice à gauche .la roue aura une hélice à droit.
Nombre de dents	Z	Nombre entier positif lié aux conditions de fonctionnement et de fabrication
Module réel	m_n	Déterminer par un calcul de résistance des matériaux et choisi parmi les valeurs normalisées
Pas réel	P_n	$P_n = \pi \cdot m_n$
Module apparent	m_t	$m_t = m_n / \cos \beta$
Pas apparent	P_t	$P_t = \pi \cdot m_n$
Entraxe de l'engrenage	a	$a = (d_1 + d_2) = m (Z_1 + Z_2)$

Tableau 2.2

3. Méthodes d'obtention des engrenages spiro-conique [4]

Deux méthodes d'obtention des surfaces de denture conjuguées pignon et roue existent en pratique.

3. 1 Méthode des roulettes

Principe de la méthode (figure 2.4) dans cette méthode, les cônes primitifs C 1 et C 2 du pignon et de la roue, de sommet S, sont tangents suivant la génératrice SI. Les dentures conjuguées du pignon et de la roue sont obtenues, par génération, à partir du même ensemble générateur ; cet ensemble est matérialisé par sa surface primitive P roulant sans glisser sur C 1 et C 2 suivant SI, et la surface génératrice N liée invariablement à P. Les deux dentures conjuguées du pignon et de la roue sont engendrées par N, en faisant rouler sans glisser P soit sur le cône C 1, soit sur le cône C 2. La surface engendrée par les arrêtes tranchantes matérialise N. C'est ce principe qui est utilisé ici pour la génération des dentures du pignon et de la roue.

Chapitre 2 Géométrie des engrenages spiro-conique

Notons que la présence de ce mouvement composé nécessite la prise en considération de l'équation d'engrènement de la roue lors du calcul de la géométrie de la denture de cette dernière, contrairement à la méthode suivante.

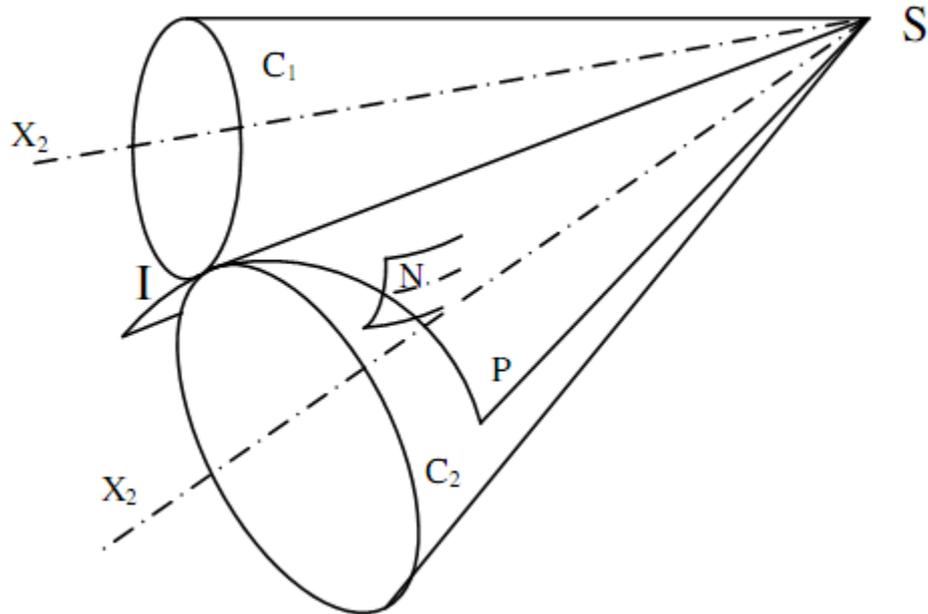


Figure 2.4 : La méthode des roulettes.

3.2 Méthode des enveloppes

Principe de la méthode (figure 2.5) : dans ce cas, la denture est engendrée par un ensemble générateur (P-N) matérialisant exactement la roue : ou P est le cône primitif de la roue, et N est la surface de denture de cette roue.

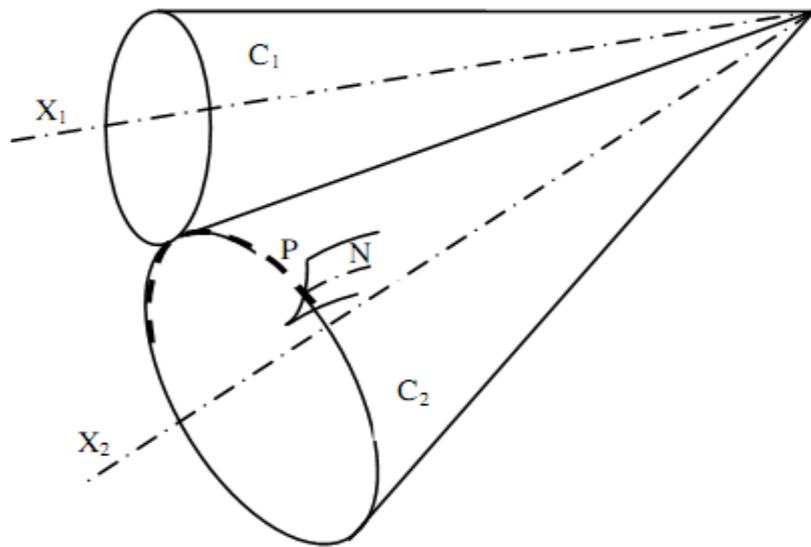


Figure 2.5 : La méthode des enveloppes.

4. Forme de la courbe directrice

La direction de dent est déterminée par une courbe directrice. Selon les mouvements de l'outil de taillage on trouve un arc de cercle ou un arc d'épicycloïde. Pour un arc de cercle (Figure 2.6), dans une position fixe, la génération de dent se réalise par trois rotations simultanées. La fraise (rayon p) tourne sur elle-même, son axe tourne autour de l'axe de la roue plate génératrice (rayon R_m). La pièce tourne aussi sur elle-même. La fraise porte des outils qui imposent une forme de profil de denture. La vitesse de rotation propre de la fraise est indépendante des autres mouvements de génération.

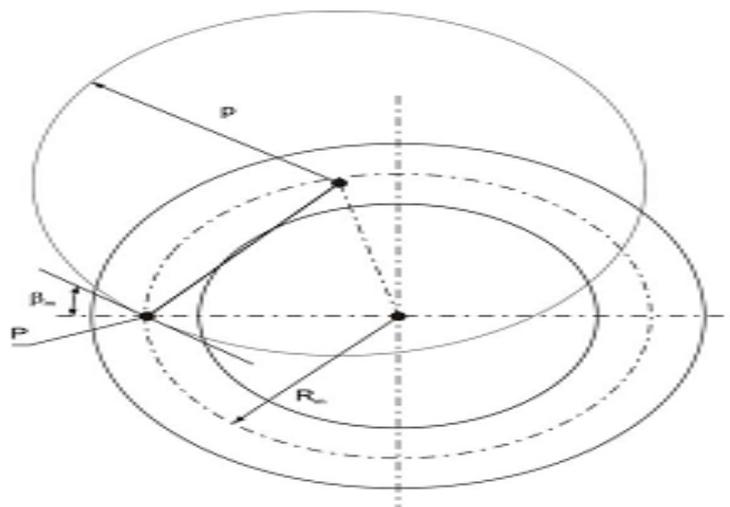


Figure 2.6 : Forme de la courbe directrice par un arc de cercle (Denture Gleason)

Chapitre 2 Géométrie des engrenages spiro-conique

Pour une génératrice selon un arc d'épicycloïde, l'axe de la fraise est entraîné par un mouvement provoqué par un cercle roulant de rayon p . La fraise tourne sur elle-même tandis que ce cercle de rayon p roule sans glisser sur un cercle de base de rayon ρ . La pièce tourne autour de son axe. La forme de la courbe directrice est alors une épicycloïde (Figure 2.7). Les rotations de la fraise et de la roue plate génératrice sont évidemment en relation.

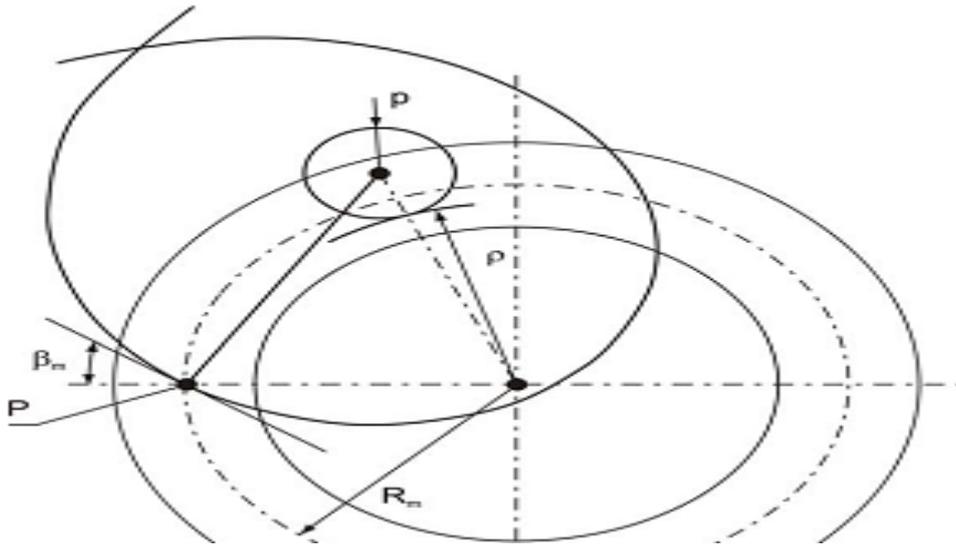


Figure 2.7 : Forme de la courbe directrice par un arc épicycloïdal (Denture Klingelnberg Oerlikon)

5. Profils conjugués [3]

5.1 La développante de sphère

Une telle surface peut être obtenue par la méthode des roulettes, dont le principe de Construction est le suivant (cf. Figure 2.8) :

Un cône de sommet S et d'axe (S, X) , correspondant au cône primitif du pignon (ou de la roue), roule sans glisser sur le plan P' . L'intersection du cône et du plan avec une sphère centrée en S sont respectivement le petit cercle (Cb) appelé cercle de base, et le grand cercle (P'). Ces deux cercles roulent sans glisser l'un sur l'autre en T . Le plan N' , passant par S et perpendiculaire à P' est invariablement lié à ce dernier. L'intersection de N' et P' est la droite (SM).

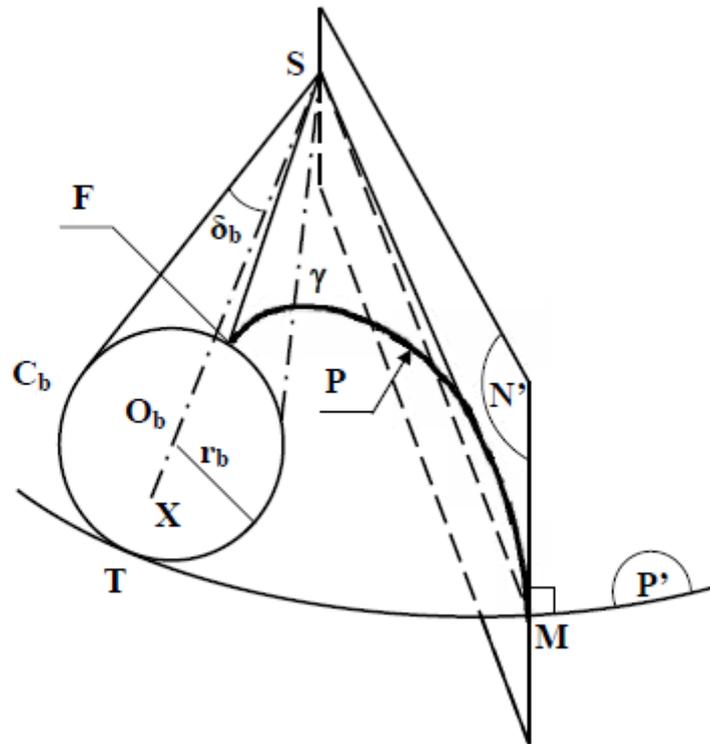


Figure 2.8 : Génération de la surface en développante de sphère.

Lors du mouvement du plan P' roulant sans glisser sur le cône de base (S, C_b) , l'enveloppe des positions du plan N' dans son mouvement par rapport au cône de base est une surface conique. Le plan P' étant normal au plan générateur N' suivant (SM) , il l'est également à la surface enveloppe. Celle-ci est balayée par la droite (SM) du plan P' lorsque celui-ci roule sans glisser sur le cône. L'un des profils directeurs de cette surface est la courbe P , intersection de la sphère de centre S avec.

P peut également être vue comme la courbe décrite par le point M lorsque l'arc du grand cercle TM roule sans glisser sur C_b . Cette courbe, tracée sur la sphère de centre S , est similaire à la développante de cercle plane : il s'agit d'une développante de sphère du cercle C_b . Elle a les mêmes propriétés que les développantes de cercle :

- l'arc TM est normal en M au profil P ,
- le point F étant le point où P rencontre C_b , nous avons à chaque instant la relation $TM = TF$
- la développante de sphère décrite par un autre point M^* de la droite (SM) est une courbe homothétique de P dans le rapport des distances SM^* et SM .

Les surfaces en développante de sphère présentent les avantages suivants pour l'engrenage :

Chapitre 2 Géométrie des engrenages spiro-conique

- les surfaces restent conjuguées si l'angle entre les axes de rotation varie,
- les vecteurs normaux aux surfaces aux points de contact sont toujours contenus dans le même plan P'
- une définition analytique existe pour la surface en développante sphérique y .

Pour des raisons de difficultés pratiques. Les industries de taillage des engrenages ont été amenées à abandonner le profil à développantes sphérique. Ce profil présente un point d'inflexion qui implique un changement d'allure de la courbe. Celui-ci rend la réalisation de mouvement de la génération de la denture Très difficile et même impossible sur certaines machines. Ce profil jusqu'à présent, est réalisé par copiage seulement. Pour la plupart des engrenages coniques .la génération se fait sous forme pyramidale dite aussi octoïde. [5]

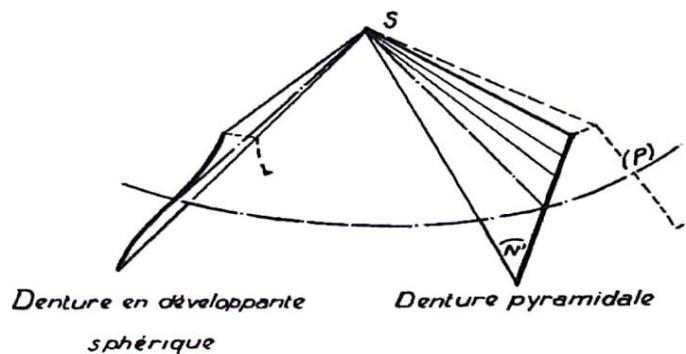


Figure 2.9 : profils des différents types de dentures.

5.2 Dentures octoïdes [5]

Elles consistent à adapter une surface génératrice plane pouvant être engendrée facilement par le tranchant rectiligne alternatif dirigé vers le sommet. Théoriquement, il existe deux types de dentures octoïdes qui varient selon la machine utilisée.

La trajectoire de la pointe de l'outil est tangente au cône du pied de la roue à tailler.

Deux cas se présentent

Premier cas :

Le support porte outil est incliné de l'angle de creux Θ , par rapport à la roue à tailler, (figure 2.10 a). Dans ce cas, on réalise le taillage d'une denture de première espèce.

Deuxième cas :

Pour des raisons de simplification sur la machines a tailler par rabotage, on donne une inclinaison a la roue de l'angle de creux Θ et pas d'inclinaison au support porte outil, (figure 2.10 b). Dans ce cas, on réalise le taillage d'une denture de deuxième espèce.

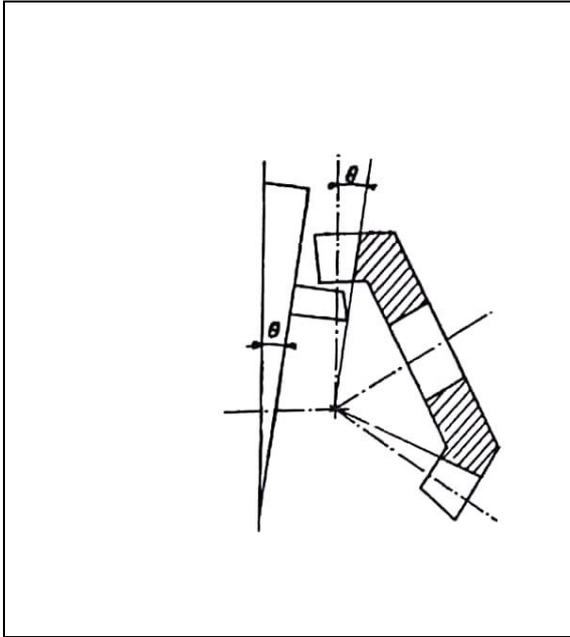


Figure 2.10 a : octoïde 1^{er} espèce.

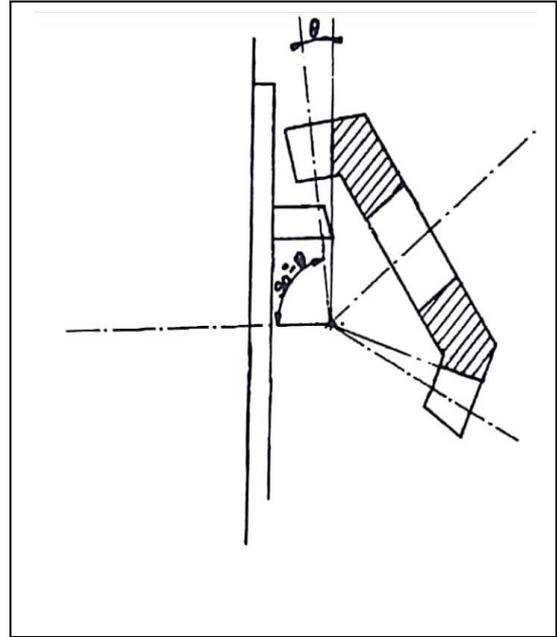


Figure 2.10 b : octoïde 2^{ème} espèce.

5.2.1 Caractéristiques

On peut écrire pour la denture de première espèce d'après

$$\sin \alpha = \sin \alpha_s \cdot \cos \Theta$$

Donc

$$\sin \alpha_s = \frac{\sin \alpha}{\cos \Theta}$$

Pour la denture de deuxième espèce on peut écrire

$$\sin \alpha = \frac{\sin \alpha_s}{\cos \Theta}$$

5.3 Hauteur de la dent [4]

5.3.1 Denture à hauteur variable

Les génératrices du cône de pied et du cône de tête ne sont pas parallèles avec la génératrice du cône primitif. La hauteur diminue linéairement du gros bout au petit bout de la dent. (Figure. 2.11).

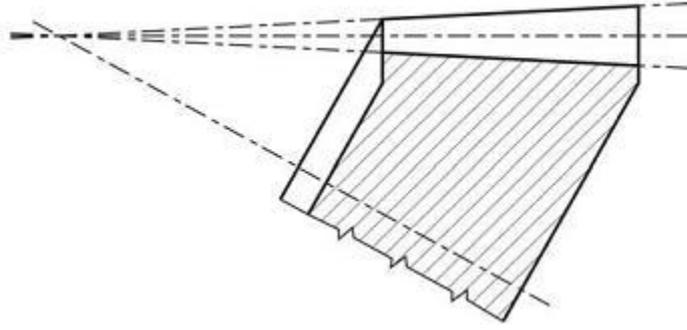


Figure 2.11 : Hauteur de denture variable des roues spiro-coniques.

5.3.2 Denture a Hauteur Constante

Les génératrices du cône de pied et du cône de tête sont parallèles avec la génératrice du cône primitif. (Figure 2.12).

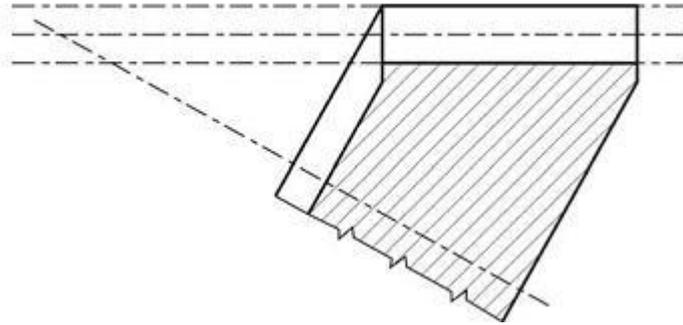


Figure 2.12 : Hauteur de denture constante des roues spiro-coniques.

6. Corrections de denture [3]

L'ensemble des conditions a été appliqué. Les flancs de dentures ne peuvent cependant pas être utilisés tels quel. En effet, l'une des particularités obtenue avec l'utilisation de la développante sphérique est que le contact existant entre le pignon et la roue s'étale sur toute la largeur de denture. De plus, aucun défaut de montage ne peut être toléré, les contacts pouvant dans ce cas être concentrés en tête ou en bord de dent et dégrader très vite la denture en fonctionnement. Afin d'éviter ces problèmes, des corrections de dentures similaires à celles utilisées pour les engrenages cylindriques peuvent alors être appliquées. Des corrections de profils sont utilisées pour réduire les contacts en tête de denture, ainsi que des corrections de bombés pour éviter les contacts sur les bords. Les deux types de corrections sont présentés sur la Figure 2.13.

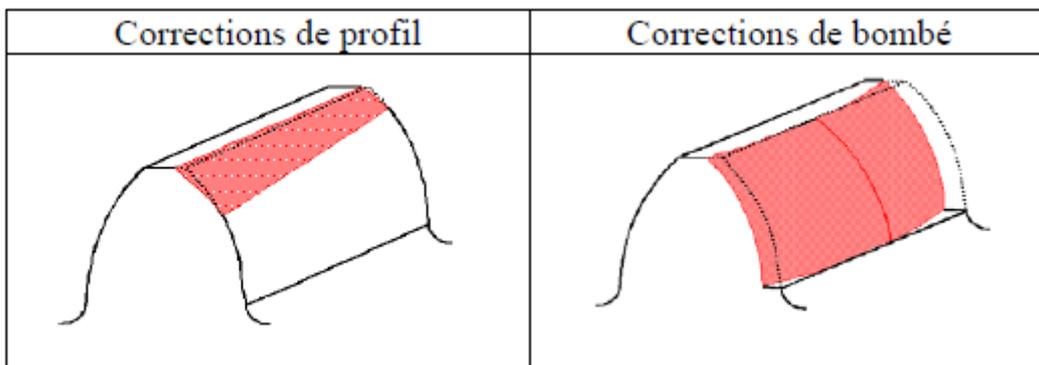


Figure 2.13 : Types de corrections utilisés.

L'application des corrections de denture va légèrement modifier les flancs de denture, tout en conservant les propriétés recherchées :

- Dans le cas de la correction de profil, le but est clairement d'éviter complètement les contacts en tête. Cette modification n'a donc pas d'influence sur les zones qui restent en contact sur les flancs.
- Concernant l'intégration du bombé, la forme de la spirale est légèrement modifiée, mais celle-ci n'a pas d'influence sur la conjugaison des profils. En effet, le profil est simplement décalé par une rotation autour de l'axe de la roue (ou du pignon). Pour une section donnée, le profil reste donc identique. Il y aura toujours deux profils en développante en contact, la propriété de conjugaison des profils est donc conservée. La forme des corrections peut être de deux types (Figure 2.13) :
- Linéaire : la déformation du profil par rapport au profil initial évolue de façon linéaire par rapport à la projection de la dent dans un plan radial,

Chapitre 2 Géométrie des engrenages spiro-conique

- Parabolique : la déformation du profil évolue dans ce cas de façon parabolique.

Le plan radial est le plan passant par l'axe de rotation et par le point milieu (sur le cône primitif) du flanc de référence. Une représentation de ce plan est présentée sur la Figure 2.14.

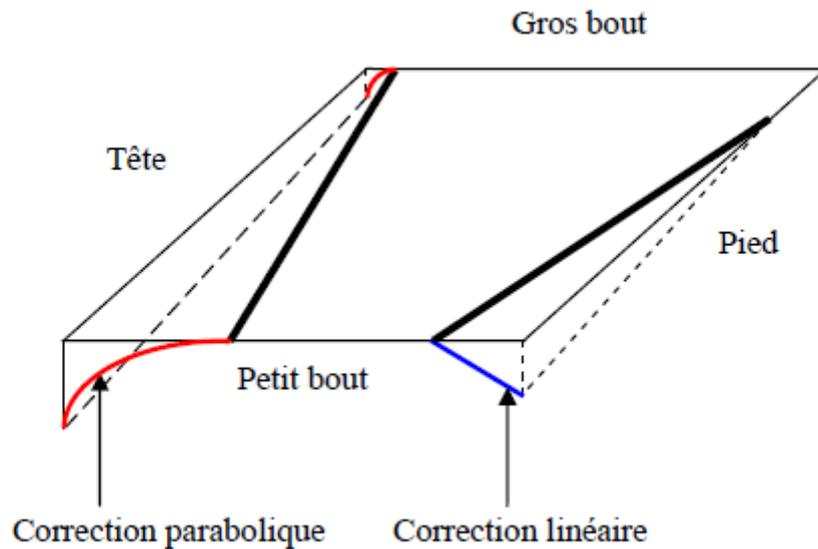


Figure 2.14: Description des deux types de forme de correction dans le plan radial.

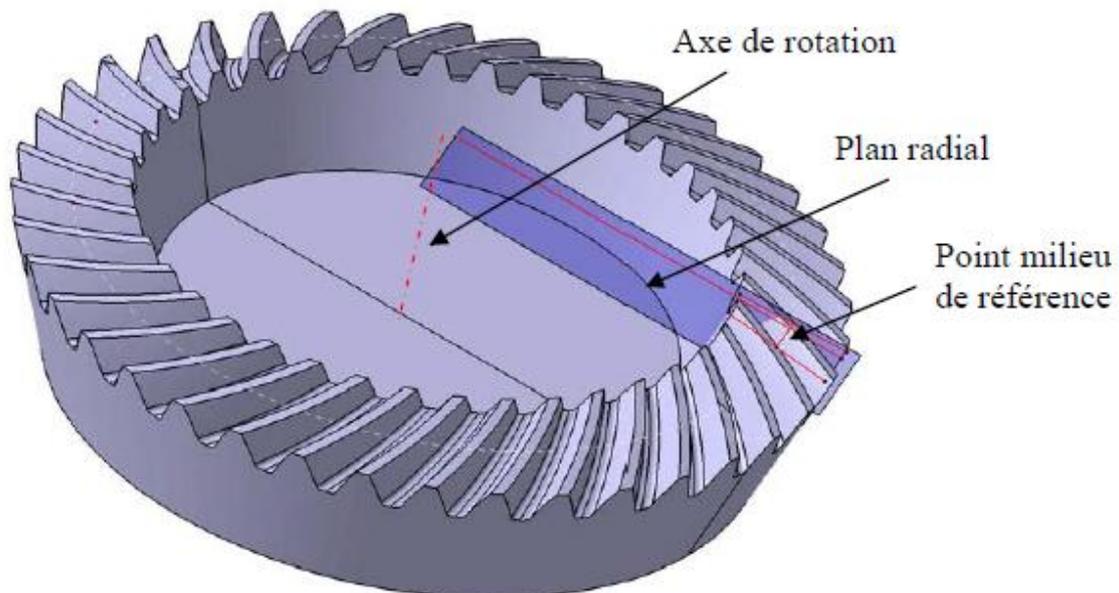


Figure 2.15 : Présentation du plan de projection.

Chapitre 2 Géométrie des engrenages spiro-conique

L'application de la correction se fait par simple rotation d'angle $d\theta$ du profil initial autour de l'axe de rotation de l'élément à corriger (pignon ou roue). r_{point} correspond à la distance entre le point à corriger et l'axe de rotation de la pièce corrigée, comme présenté sur la Figure 2.16.

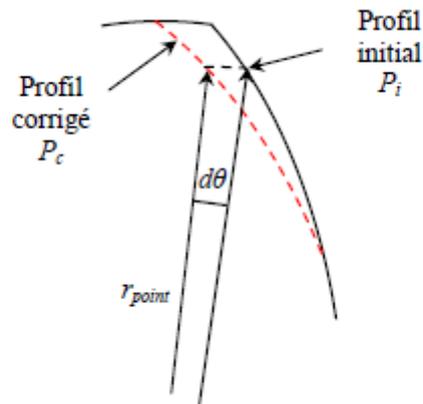


Figure 2.16 : Principe d'application de la correction.

De nombreux paramètres de corrections de denture peuvent être appliqués. Il existe trois types de corrections de dentures, avec plusieurs paramètres pour chaque cas :

- La correction de bombé sur le pignon (Figure 2.17)
- Position du bombé par rapport au gros bout : lcb ,
- Profondeur de la correction côté petit bout : cbp ,
- Profondeur de la correction côté gros bout : cbg .

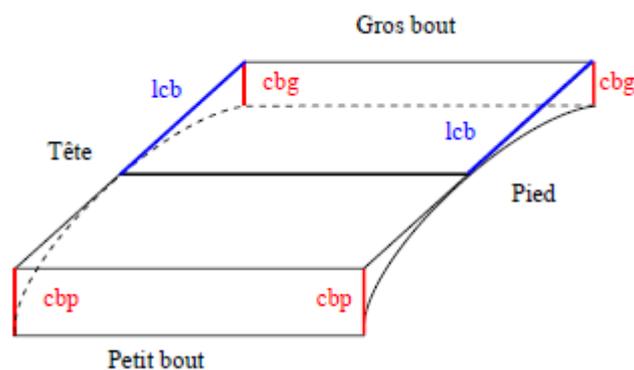


Figure 2.17 : Correction de bombé sur le pignon.

Chapitre 2 Géométrie des engrenages spiro-conique

- La correction de profil sur le pignon (Figure 2.18 à Figure 2.20, indices 1)
- Hauteur de la correction côté petit bout : hc_{pp1} ,
- Profondeur de la correction côté petit bout : cp_{p1} ,
- Position du début de la correction côté petit bout : lc_{pp1} ,
- Hauteur de la correction de profil côté gros bout : hc_{pg1} ,
- Profondeur de la correction côté gros bout : cp_{g1} ,
- Position du début de la correction côté gros bout : lc_{pg1} .
- La correction de profil sur la roue (Figure 2.18 à Figure 2.20, indices 2)
- Hauteur de la correction côté petit bout : hc_{pp2} ,
- Profondeur de la correction côté petit bout : cp_{p2} ,
- Position du début de la correction côté petit bout : lc_{pp2} ,
- Hauteur de la correction de profil côté gros bout : hc_{pg2} ,
- Profondeur de la correction côté gros bout : cp_{g2} ,
- Position du début de la correction côté gros bout : lc_{pg2} .

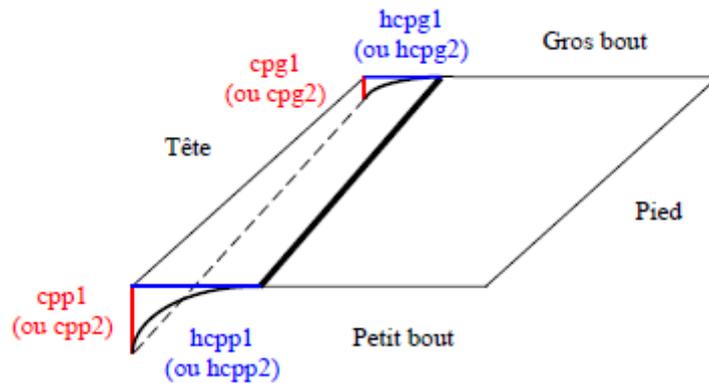


Figure 2.18 : Correction de profil sur le pignon (ou sur la roue) sur toute la largeur.

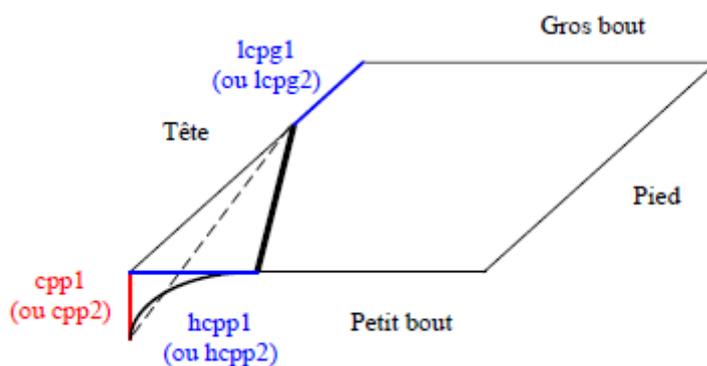


Figure 2.19 : Correction de profil sur le pignon (ou sur la roue) sur le petit bout seulement.

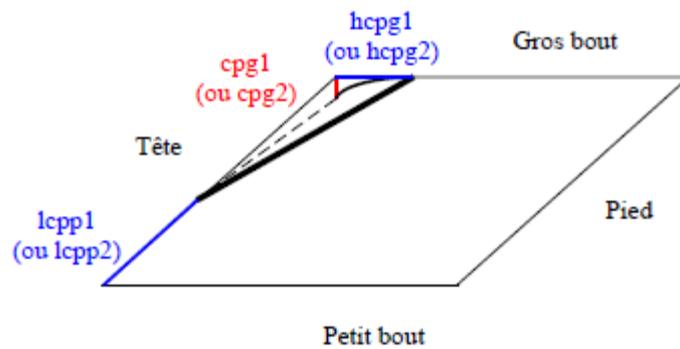


Figure 2.20 : Correction de profil sur le pignon (ou sur la roue) sur le gros bout seulement.

7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la géométrie des engrenages conique et spiro-conique.

Les profils de denture précis ont peut être définis numériquement, soit en se basant sur des géométries standards, soit en développant des profils de dentures théoriques ou pratique.

Les profils de dentures standards ont été obtenus à partir de développantes sphériques et octoïdes par la méthode des enveloppes, en se basant sur les mouvements de machines de taillages Gleason.

1. Introduction

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer.

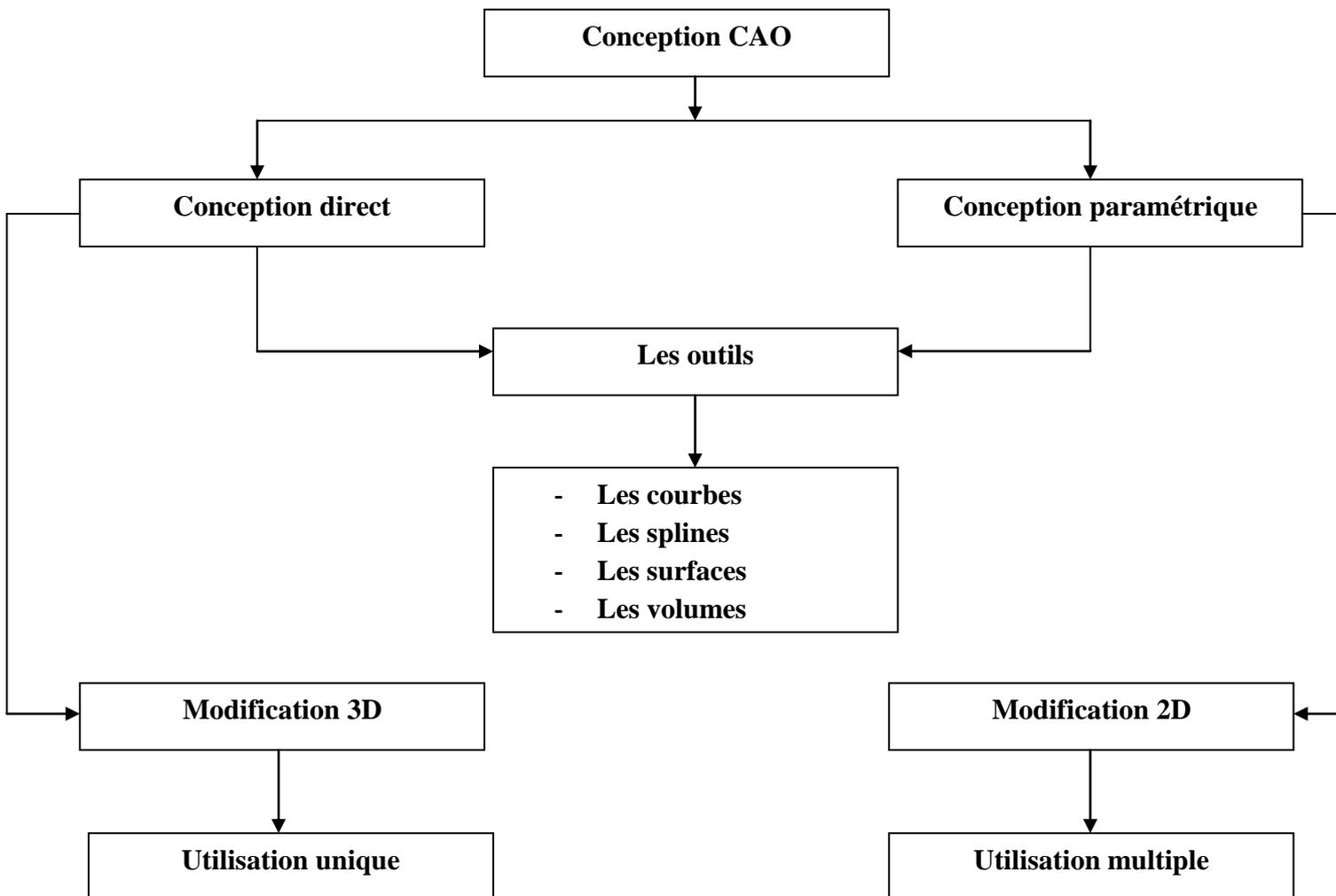


Figure 3.1: Diagramme de conception.

2. Les différents logiciels de la CAO [6]

Il existe une multitude de logiciels dans le domaine de la C.A.O représentés par la figure 3. 2. Ces différents logiciels travail avec des courbes paramétrés.

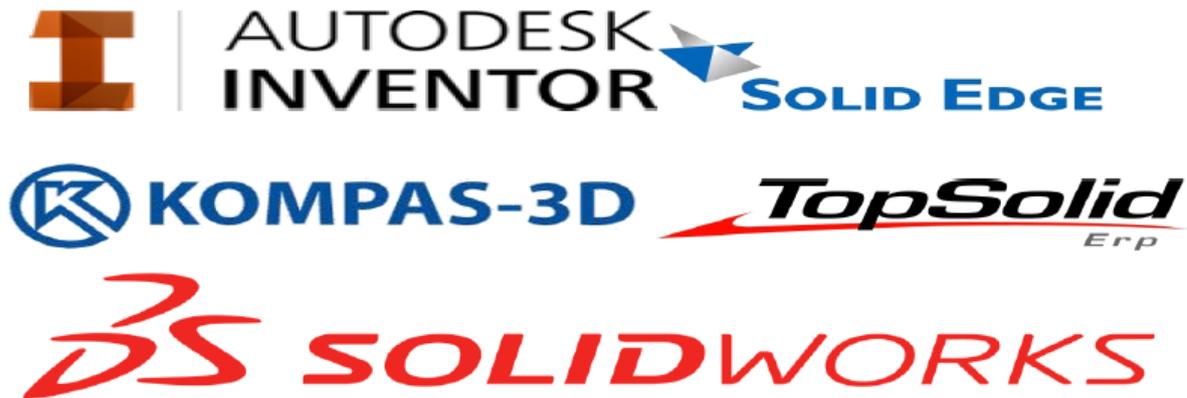


Figure 3.2 : Les différentes marques des logiciels de C.A.O.

3. Modélisation paramétrique [8]

Tous les systèmes de CAO sont basés sur des principes de modélisation géométrique. Cette modélisation permet de créer des modèles 3D qui fournissent les informations de base pour les dessins, les analyses par éléments finis, les visualisations, la programmation CN et les autres applications liées à la conception.

Les systèmes de modélisation paramétrique sont des outils complexes qui doivent respecter des exigences très différentes. Tout d'abord, le noyau de modélisation doit pouvoir générer des géométries complexes, telles que celles utilisées pour les pièces plastiques dans les biens de consommation ou le secteur automobile.

Ensuite, le système doit prendre en charge les modifications importantes, par exemple lors de la conception de machines et d'équipements d'usine comprenant souvent plusieurs dizaines de milliers de pièces.

Enfin et surtout, les outils de modélisation paramétrique doivent être intuitifs et permettre aux utilisateurs de se concentrer sur leur conception sans se soucier des exigences techniques du système de CAO.

3.1 La modélisation paramétrique facilite les modifications

La possibilité d'apporter des modifications à tout moment est l'intérêt majeur de la modélisation paramétrique. Semblable aux modèles booléens, un modèle paramétrique se compose de solides primitifs. Ce type de solide peut être basé sur une esquisse 2D extrudée en prisme ou pivotant sur son axe. Les solides primitifs sont ensuite assemblés au moyen d'opérations booléennes d'union, de soustraction ou d'intersection.

La principale différence entre la modélisation booléenne et paramétrique est que l'ensemble de la géométrie peut être modifié de façon paramétrique, par exemple, dimensionnellement. En modifiant les dimensions dans les esquisses 2D source, vous pouvez contrôler l'aspect de votre modèle. La profondeur d'extrusion d'une esquisse est également paramétrique et peut donc être modifiée par la simple saisie d'une nouvelle valeur. En outre, les utilisateurs peuvent affecter des liens et définir des trous concentriques, par exemple, ou des bords colinéaires. Si vous décidez de repositionner un trou, le système ajuste automatiquement la géométrie pour appliquer le même modèle concentrique au nouveau trou. Il est également possible de définir des relations intelligentes entre les objets, par exemple faire de la longueur d'une pièce un multiple de la largeur.

Les relations intelligentes permettent de stocker l'intention de conception sous-jacente. En définissant des valeurs de paramètres comme la longueur, la largeur, la hauteur, etc., il est très facile de générer différentes options de conception. Les systèmes de CAO les plus évolués proposent des fonctions de modélisation paramétrique avancées, par exemple le balayage et le lissage. Vous pouvez définir des congés complexes et insérer des connexions de surfaces lisses avec une continuité tangentielle ou de courbure. Le logiciel Autodesk Inventor dispose de toutes ces fonctions.

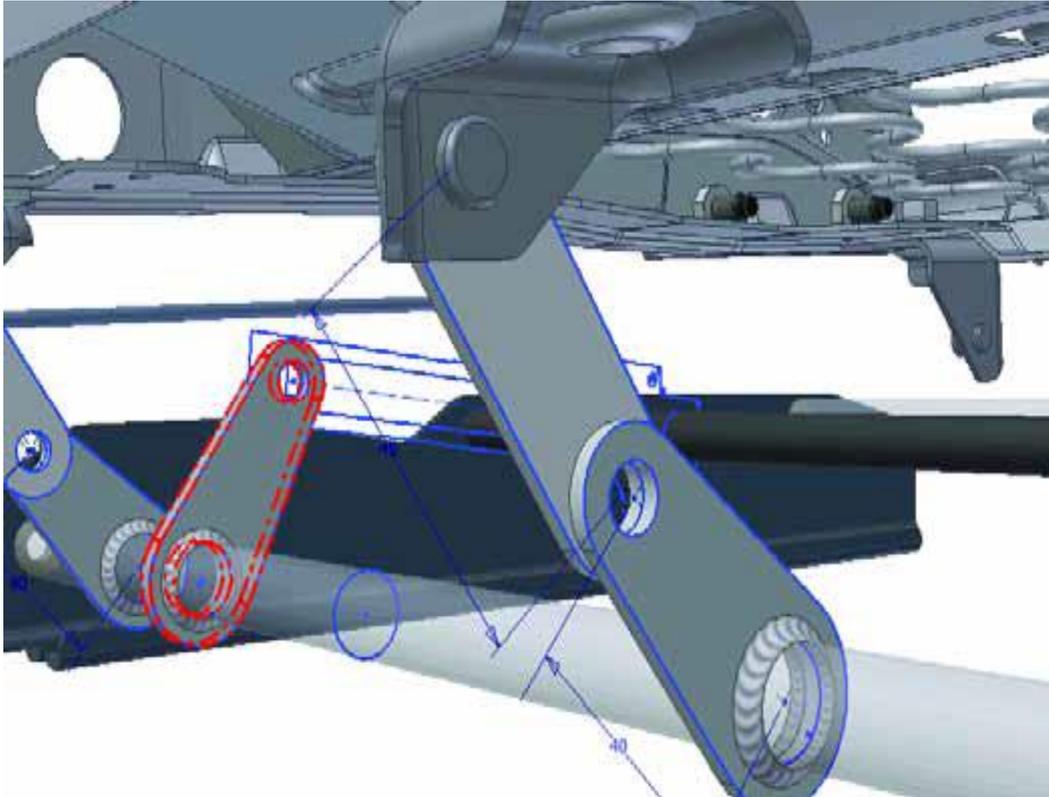


Figure 3.3 : modification des paramètres dimensionnels.

Les possibilités de modification paramétrique reposent non seulement sur la création d'un modèle réel durant la modélisation, mais également sur l'enregistrement de l'historique de création. En cas de modification dimensionnelle dans la source, la pièce concernée de l'historique est recalculée, et le modèle est soit recréé, soit ajusté.

La plupart des systèmes de modélisation paramétrique prennent également en charge la conception fonctionnelle. Au lieu d'utiliser des primitives géométriques, les concepteurs font appel à des éléments qu'ils connaissent bien, par exemple des trous comportant un lamage et un filetage, des nervures avec des angles de dépouille et des courbes, etc.

3.2 La conception fonctionnelle pour simplifier la tâche

La possibilité d'automatiser une série de tâches de modélisation pour créer en une seule étape des éléments de conception fréquemment utilisés (raccord à pression, grilles de ventilation, etc.) simplifie votre travail.

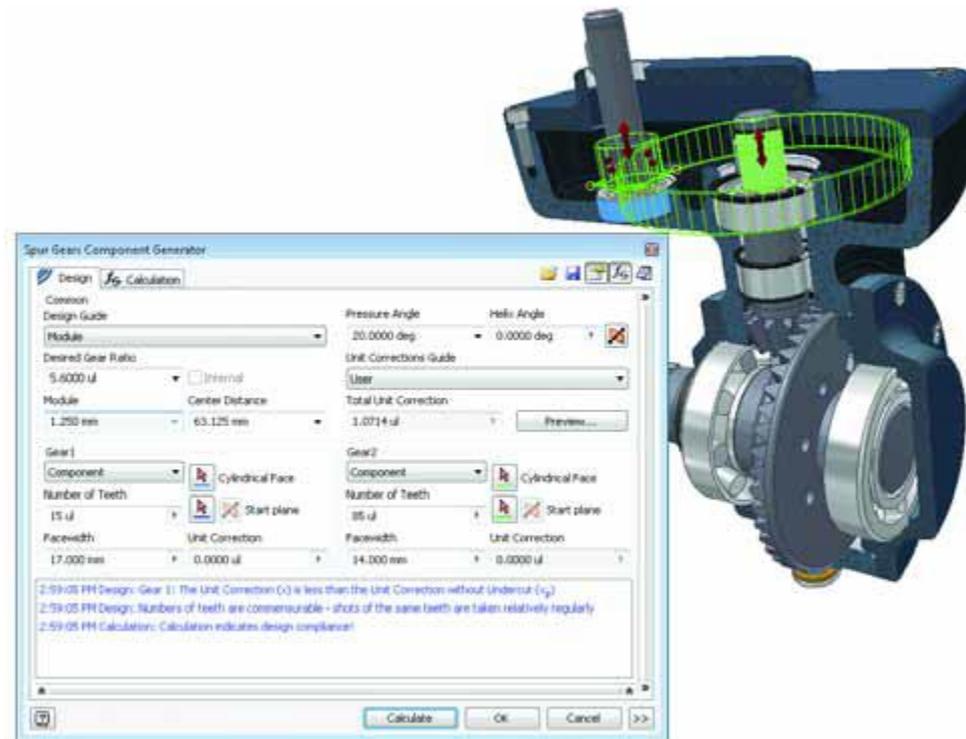


Figure 3.4 : la conception fonctionnelle.

3.3 Défis liés à la modélisation paramétrique

L'efficacité des outils de modélisation paramétrique dépend des utilisateurs. Par exemple, les liens entre les objets ou les fonctions peuvent poser problème. Si vous ne les connaissez pas ou si vous ne les respectez pas, elles peuvent induire des modifications indésirables. Si la longueur d'une pièce est définie par rapport à sa largeur, celle-ci changera dès que vous modifierez la longueur, et vice-versa. L'historique de conception peut également rendre la tâche difficile. En voici un simple exemple : vous ne pouvez placer un trou qu'à un endroit où il y a de la matière. Ainsi, si vous modifiez la conception et qu'aucun matériau n'est affecté à la nouvelle position, il est évidemment impossible de placer un trou à cet endroit.

Un message d'erreur s'affiche alors.

Pour modifier un modèle paramétrique, vous devez connaître l'intention de conception. Si vous ne tenez pas compte des liens et de l'historique, votre modèle risque de changer de façon imprévue.

Cependant, il arrive très souvent que les utilisateurs ne connaissent pas l'intention de conception, les liens ou l'historique, par exemple lorsqu'une pièce a été créée il y a longtemps ou par un autre concepteur.

Si la conception de la pièce est simple, le concepteur peut facilement reconstituer l'intention initiale.

4. La modélisation directe

Cette approche permet au concepteur d'apporter directement des modifications à la géométrie, sans tenir compte des dépendances ou des paramètres. Toutes les modifications sont appliquées sur le modèle 3D lui-même. Vous sélectionnez avec le curseur les géométries comme les contours, les surfaces, les chanfreins ou les trous, pour ensuite les réduire, les étendre, les repositionner, les faire pivoter ou les extruder.

La visualisation en temps réel fournit un retour d'information immédiat sur les actions du concepteur. La modélisation directe facilite également la création rapide de modèles conceptuels. Vous pouvez créer des esquisses et des assemblages à main levée sans tenir compte des liens ou de toute autre limitation, sachant qu'il est possible d'annuler les modifications à tout moment.

L'un des principaux avantages de la modélisation directe est la facilité avec laquelle vous pouvez apporter des modifications. De plus, la technologie Autodesk Inventor Fusion offre une interface utilisateur innovante d'une grande simplicité avec des menus circulaires intelligents. Grâce à cette interface, les concepteurs augmentent rapidement leur productivité et obtiennent d'emblée les résultats voulus.

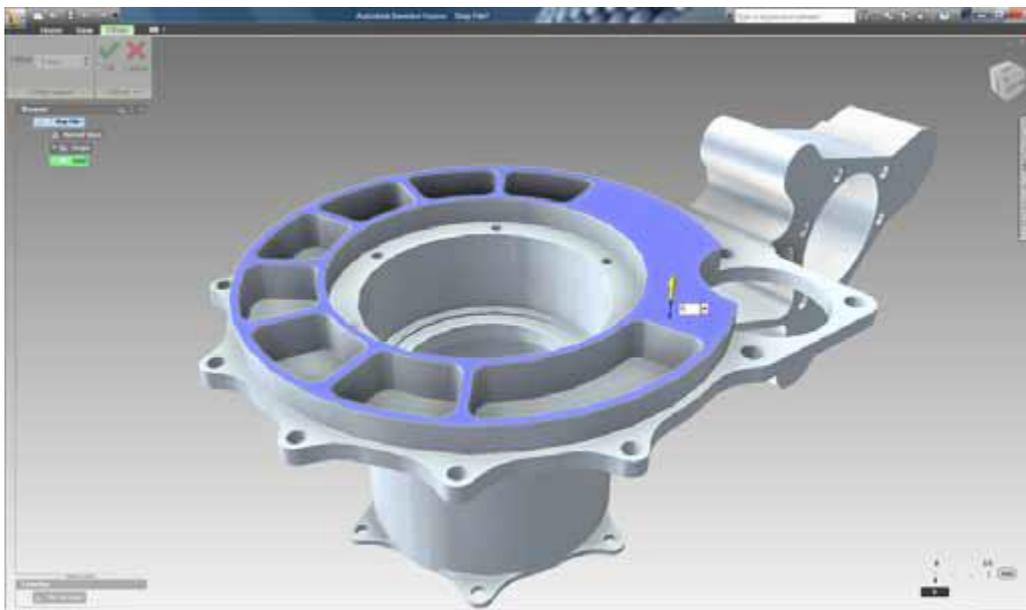


Figure 3.5 : L'approche de la modélisation directe de la technologie Inventor Fusion.

5. Modélisation paramétrique ou directe ?

La modélisation paramétrique s'impose particulièrement si vous voulez intégrer et réutiliser des informations de conception via des relations et des liens intelligents avec le modèle. Elle facilite également l'optimisation itérative d'une conception.

La modélisation paramétrique permet également de créer des familles et des configurations de produits de tailles différentes, par exemple. La modélisation directe est la solution idéale si vous voulez simplement visualiser une idée dans un modèle conceptuel sans créer nécessairement une structure de modèle détaillée.

Elle convient également à l'évaluation de scénarios de type « que se passe t'il si ? » en vue d'apporter des modifications ponctuelles ou d'examiner les liens et les relations dans un modèle paramétrique.

La modélisation directe est la méthode privilégiée lors de la modification de données importées. Étant donné que les géométries importées n'intègrent pas en général d'historique paramétrique, les outils de modélisation paramétrique ne sont pas d'une grande utilité.

La modélisation directe n'est pas une alternative à la modélisation paramétrique, mais plutôt un complément.

6. Génération des courbes et les surfaces [7]

6.1 Les courbes

Après quelques tentatives de représentation à l'aide des séries de Fourier (Fayard) ou des formes cartésiennes (Anaba) la représentation universellement employée maintenant est celle des fonctions paramétriques polynomiales rationnelles ou non rationnelles, qui avaient fait l'objet des travaux d'Isaac Schönberg après 1940, mais sur lesquelles l'attention de l'industrie n'avait guère été attirée, car il n'existait pas encore alors de moyens de calcul assez rapides pour justifier une application pratique.

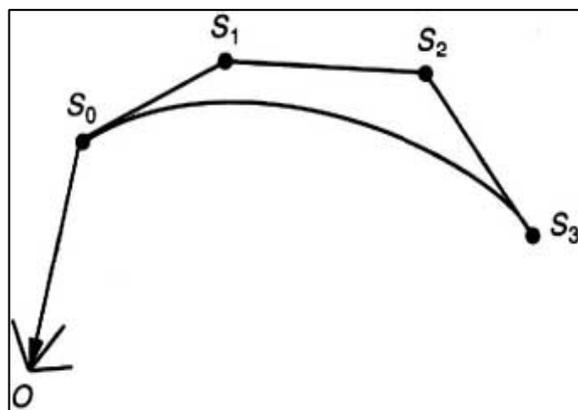


Figure 3.6 : Courbe cubique.

6.1.1 Différent types des courbes

1. Représentation de P. de Casteljau

Dès 1958, Paul de Casteljau, mathématicien chez Citroën, réalisa des travaux remarquables, mais ceux-ci ne furent publiés sous forme détaillée qu'en 1985, en raison de la discrétion qui était traditionnelle dans cette entreprise. Sous sa forme la plus simple, la représentation d'un arc de courbe compris entre les valeurs 0 et 1 d'un paramètre u s'exprime par l'équation 1, et représenté par la figure 3.7 :

$$P(u) = \sum_{i=0}^3 s_i \cdot \beta_{i,3}(u)$$

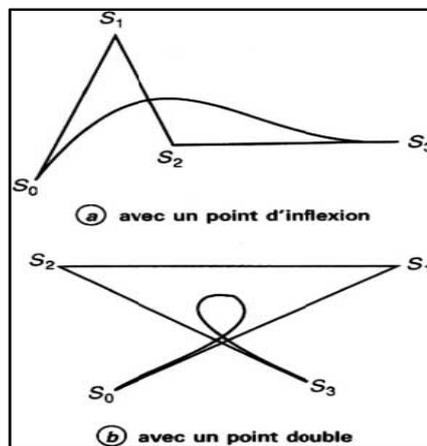


Figure 3.7 : Représentation des courbes de P. de Casteljau.

2. Cubiques paramétriques de J. Ferguson

En 1964, James Ferguson, de chez Boeing, a publié, dans le Journal of the Association for Computing Machinery (JACM), une étude sur les surfaces paramétriques dans laquelle un arc de courbe paramétrique, limité par les valeurs 0 et 1 du paramètre, et de degré trois, est défini par les conditions aux limites et exprimé par l'équation 2 suivante :

$$P(u) = \sum_{i=0}^3 a_i \cdot u^i$$

3. Méthode d'Hermite

Le principe de la méthode d'Hermite peut s'appliquer à la définition d'une courbe de degré m astreinte à passer par $(m + 1)$ points dont les coordonnées sont connues dans un espace bidimensionnel ou tridimensionnel. On attribue à chacun une valeur du paramètre, comprise entre 0 et 1, et qui croît en fonction du rang dans l'ordre de passage par les points. La forme générale de cette méthode est exprimée par l'équation suivante :

$$P(u) = \sum_{i=0}^3 b_i \cdot u^i$$

6.2. Les splines

Le mot anglais spline a malencontreusement prévalu, alors qu'il se traduit en français par les substantifs latte ou baguette. En imaginant les diverses théories des splines, leurs auteurs ont voulu créer un système automatique dans lequel une courbe ou une surface sont astreintes à passer par des points bien définis. Une spline est constituée par la juxtaposition d'arcs de courbes paramétriques polynomiales reliant deux points de passage consécutifs ; le raccordement entre deux arcs est assuré naturellement en leur extrémité commune, origine pour l'un et extrémité pour l'autre, par l'égalité des pentes, et éventuellement des courbures ou même d'un raccordement à un ordre plus élevé. Cette continuité peut être garantie par l'égalité de leurs dérivées successives, mais cette condition suffisante n'est pas nécessaire pour assurer la continuité géométrique, celle que recherchent les utilisateurs dans l'industrie ; en effet, pour que deux arcs soient tangents en leur point de raccordement, il suffit que leurs vecteurs dérivées soient colinéaires, c'est-à-dire proportionnels sans être forcément égaux ; cette liberté se retrouve, sous une forme un peu plus compliquée, quand il s'agit d'osculon

6.2.1 Répartition de la valeur du paramètre

Entre les points extrêmes d'une spline, il est simple d'avoir une variation d'un seul paramètre, qui passe de façon continue d'une valeur t_0 à t_m lorsqu'il existe $(m + 1)$ points de passage ; ces valeurs peuvent être respectivement 0 et 1, mais ce n'est pas obligatoire.

6.2.2 Les différents types de splines

1. Splines non rationnelles, uniformes ou non uniformes

Un point d'un arc de courbe spline est défini par l'expression :

$$P(u) = \sum_{i=0}^m b_i \cdot u^i$$

Les coefficients s_i sont des vecteurs ayant une origine quelconque et une extrémité constituée par leur point de définition ; la somme des fonctions F étant identiquement égale à 1, cela explique pourquoi l'origine commune des vecteurs s peut être située n'importe où et pourquoi la forme d'une courbe ne varie pas lorsque la collection de ses points de définition subit, en bloc, une translation ou une rotation.

2. Splines rationnelles uniformes ou non uniformes (NURBS)

Excepté les paraboles, une spline non rationnelle ne peut représenter exactement une conique. On peut considérer que c'est un défaut, bien qu'une cubique soit capable d'en fournir une acceptable approximation. C'est pourquoi on a étudié les formes rationnelles qui remédient à cet inconvénient.

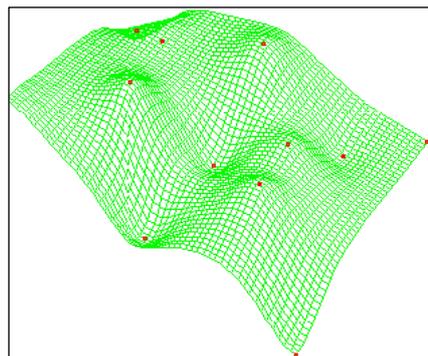


Figure 3.8 : Splines rationnelles uniformes ou non uniformes (NURBS).

6.3 Les surfaces

Parmi les premiers travaux accomplis en France à propos de la CFAO, il faut citer ceux de Jean-Marc Brun et Michel Théron, chercheurs à la faculté d'Orsay vers 1965. Leur solution était fondée sur la combinaison booléenne de solides définis par des droites et des cercles.

Cette méthode se prêtait mal à la description d'objets ayant des formes plus variées, tels par exemple des avions, les coques de bateaux, les aubes de turbines, les carrosseries d'automobiles, etc. On ne cite cette solution que pour mémoire et la suite de la présente étude se limitera à celle des solutions paramétriques. Les applications industrielles sont différentes selon qu'il faut traiter de la dynamique des fluides, de la mécanique des milieux.

6.3.1 Les différents types des surfaces

1. Carreaux de J. Ferguson

La méthode a été exposée par James Ferguson, ingénieur chez Boeing, dans le *Journal of the Association for Computing Machinery* (JACM) en avril 1964. Le contour d'un carreau (figure 15) est défini par quatre cubiques paramétriques $P(u, 0)$, $P(u, 1)$, $P(0, v)$ et $P(1, v)$. En chaque coin, on connaît donc les dérivées partielles paramétriques. Pour compléter la définition, on choisit arbitrairement en chaque coin une dérivée mixte : $\frac{\partial^2}{\partial u \partial v}$

On possède alors les seize conditions qui déterminent les coefficients a de l'expression suivante et représenté dans la figure 3.4 :

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} \cdot u^i v^j$$

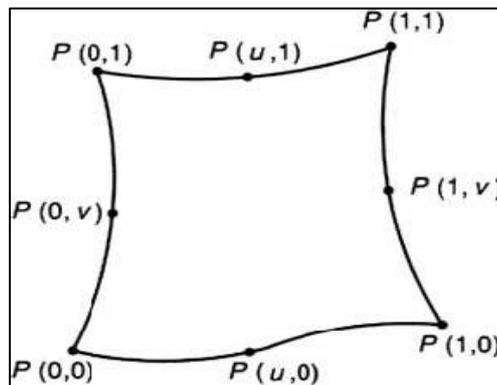


Figure 3.9 : Carreau de Ferguson.

2. Carreaux de S. Coons

Steven A. Coons, enseignant alors au MIT, reçut d'un grand constructeur d'automobiles, au début de la décennie de 1960, la mission suivante : « Sur la maquette d'une carrosserie de voiture, on a tracé des lignes, planes ou gauches, formant un carroyage. Les quatre côtés d'un carreau étant des courbes paramétriques préalablement définies, déterminer les points internes du carreau n assurant son raccordement tangentiel avec ses voisins ».

3. Surfaces triangulaires

Quand une surface est de forme très irrégulière, comme c'est le cas, par exemple, pour un levé topographique, ou lorsque les points, dont on a mesuré les coordonnées cartésiennes à l'aide d'un procédé mal adapté, forment un réseau plus ou moins irrégulier, la première opération consiste à relier les points trois à trois en prenant comme critère leur distance cartésienne ; on emploie pour cela l'algorithme de Delauney. Ensuite, on transforme les facettes triangulaires planes en surfaces élémentaires gauches tangentes entre elles.

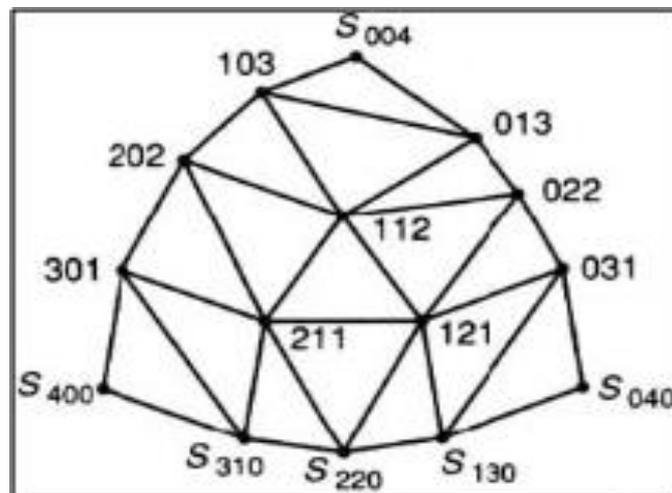


Figure 3.10 : Surface triangulaire.

4. Carreaux UNISURF

Par analogie avec la représentation des courbes, un carreau est déterminé par un réseau caractéristique dont les mailles quadrangulaires ne sont pas forcément planes et dont les paramètres sont traités par des fonctions qui ne sont pas obligatoirement du même degré. La numérotation des sommets du réseau de la fig3.6 montre que la surface est du quatrième degré par rapport à u et du cinquième par rapport à v .

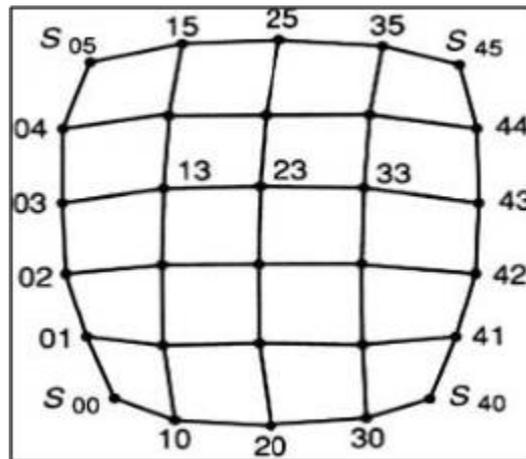


Figure 3.11 : Carreaux UNISURF.

5. Surfaces splines non rationnelles et rationnelles

De même qu'une courbe spline est déterminée par un polygone caractéristique dont les sommets sont les points de définition, un carreau spline est déterminé par un réseau caractéristique. Les conditions de raccordement sont tirées directement de celles qui concernent les courbes, qu'elles soient non rationnelles ou rationnelles.

7. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de prendre une idée à la génération d'une pièce en CAO et les différentes logicielles CAO, la génération d'une pièce en CAO se fait par des équations de courbes et de surface. Tous les systèmes de CAO sont basés sur des principes de modélisation géométrique. Cette modélisation permet de créer des modèles 3D, Dans le secteur de la fabrication la conception 3D propose deux approches principales : l'approche paramétrique et l'approche directe.

1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre la procédure de génération d'un couple d'engrenage par la méthode paramétré et le design modelé d'Autodesk inventor16.0. Nous avons pris en considération pour cette génération la procédure développé par le logiciel et développer un organigramme pouvant être exploité pour l'extraction et l'extraction de donner pour d'autres applications.

2. Apporche algorithmique

Cette approche nous a permis de faire un assemblage d'un couple roue pignon à l'aide de logiciel Autodesk inventor . L'algorithme d'assemblage se base sur des donnés spécifique donner par le tableaiu 4.1. Cette approche consiste dans une procédure préliminaire qui consite dans le dessin des pièces des pignon et de la roue et par la suite faire l'assemblage par une procédure finale.

Σ	m	Zp	Zr	α	β
90°	4	24	48	20°	30°

Tableau 4.1 : les donnés spécifique du couple roue-pignon.

2.1 Différentes étapes de la procedure préliminaire

1^{er} étape :

- donner les dimensions (créé la piece).
- Faire une revolution de corps en 3D.

2^{ème} étape :

- Créé l'esquisse de la dent 2D.
- Créé le réseau circulaire des dents.
- Faire une révolution 3D.

3^{ème} étape : L'assemblage des deux corps (le corps fix + corps des dents).

2.2 Procédure d'assemblage

la procédure finale représente la procédure d'assemblage décrite sous forme de l'arborescence ci dessous

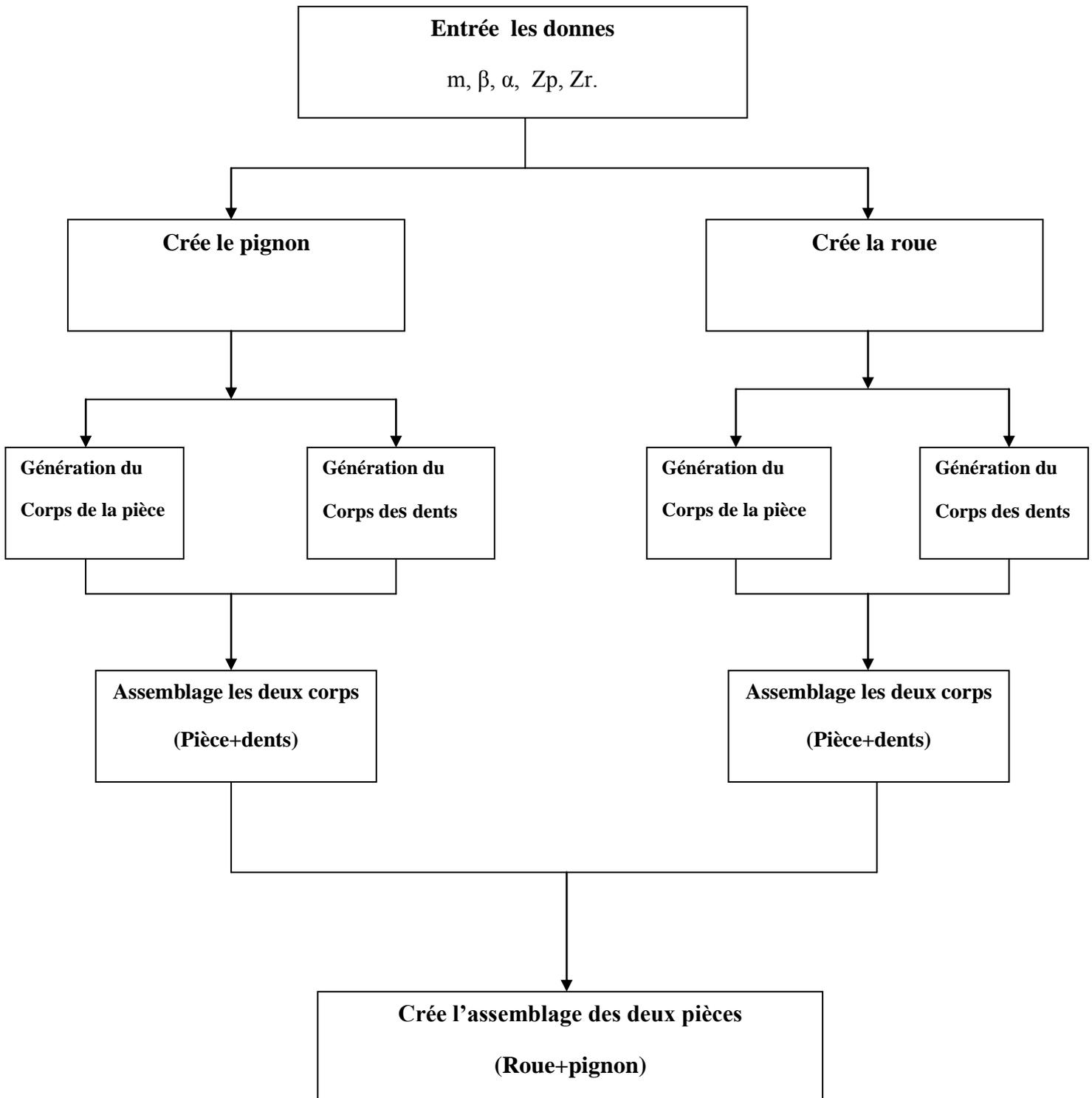


Figure 4.1 :organigramme générale de l'assemblage roue-pignon.

3. Procédure de la génération des engrenages spiro-conique

Nous présentons ci-dessous la procédure de génération d'un couple d'engrenage spiro conique pour les valeurs du tableau 1.

3.1 Génération du pignon

La génération du pignon se passe en plusieurs étapes.

- **Première étape: génération de l'esquisse du corps**

1- Nous cliquons sur **1** pour commencer un plan d'esquisse 2D, ce dernier est mentionnée dans cette figure 4.2.

2- Nous cliquons sur **2** pour terminer l'esquisse et en obtenons le corps des dents en 3D (figure 4.2).

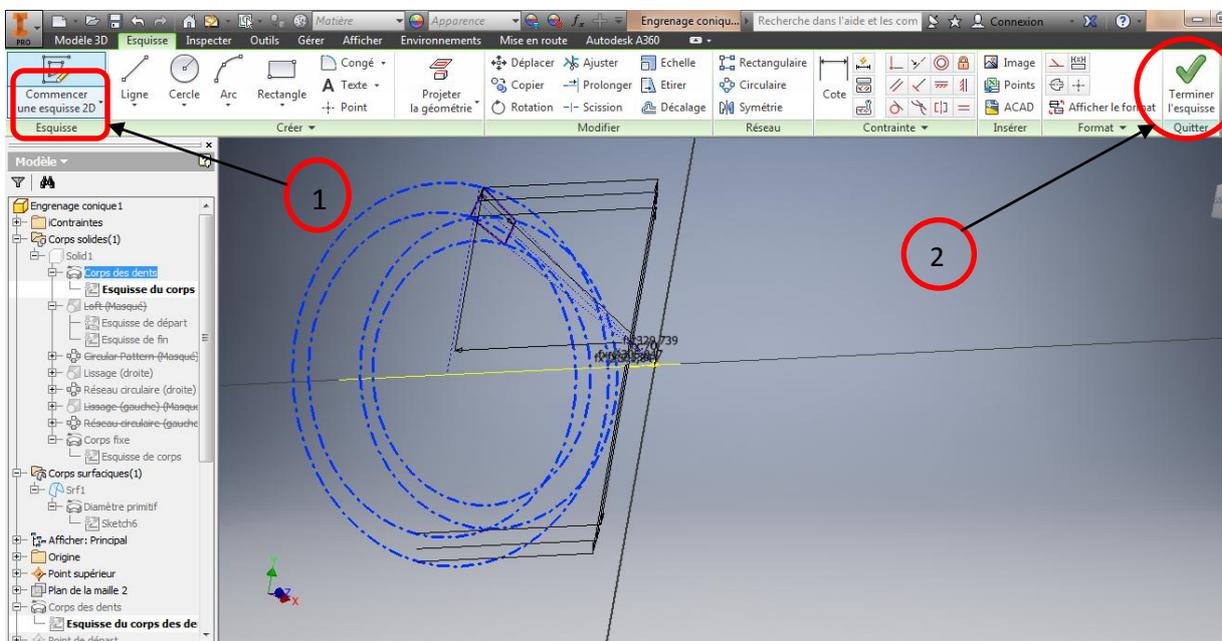


Figure 4.2 : génération de l'esquisse.

- **Deuxième étape: esquisse de la dent**

3- on veut fait l'esquisse des dents, donc en clique sur 4 pour commencer une esquisse 2D.

4- on clique sur OK. comme indiqué sur la figure 4.3.

Chapitre 4 Méthodologie de génération

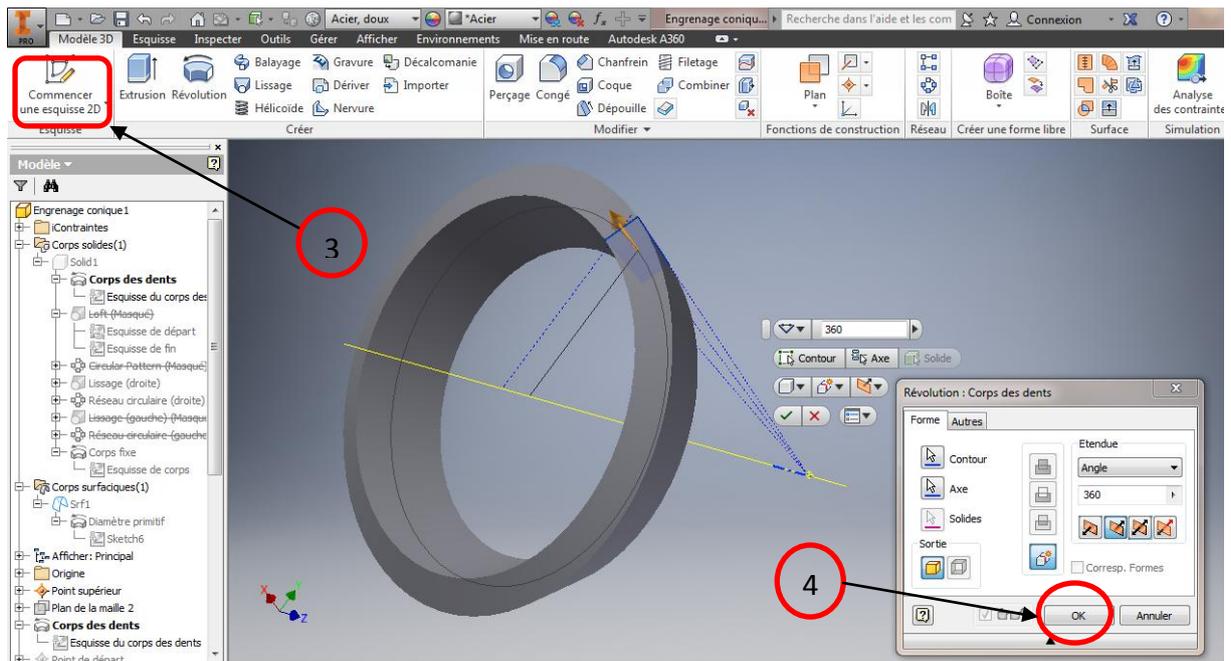


Figure 4.3 : Modélisation 3D du corps.

Nous obtenons l'esquisse du départ de la dent indiquée par les figures 4.4 et 4.5...., en cliquant sur 5 pour terminer l'esquisse.

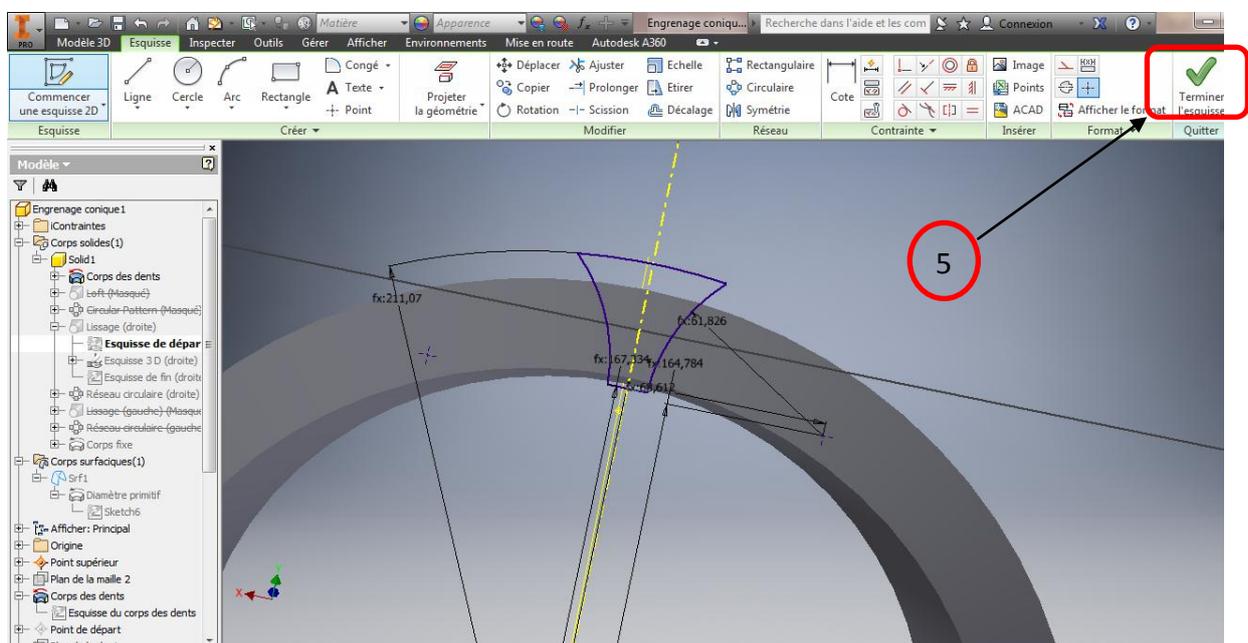


Figure 4.4 : l'esquisse du départ de la dent.

Chapitre 4 Méthodologie de génération

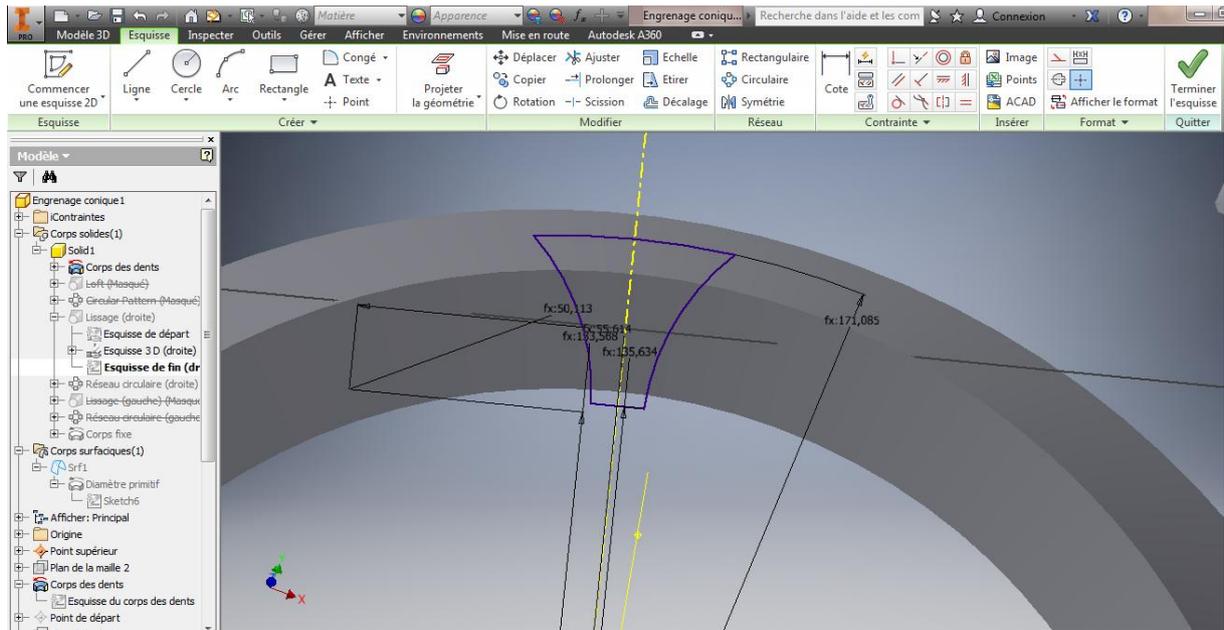


Figure 4.5 : l'esquisse du fin de la dent.

- **Troisième étape: Opération de lissage et de réseau**

Nous effectuons une opération de lissage par les courbes de splines pour avoir un recouvrement de courbes sur plusieurs points, comme indiqué par la figure 4.5. Cette opération s'effectue par les opérations suivantes:

D'abord en clique sur 6 puis en clique sur 7 pour terminer l'opération du lissage.

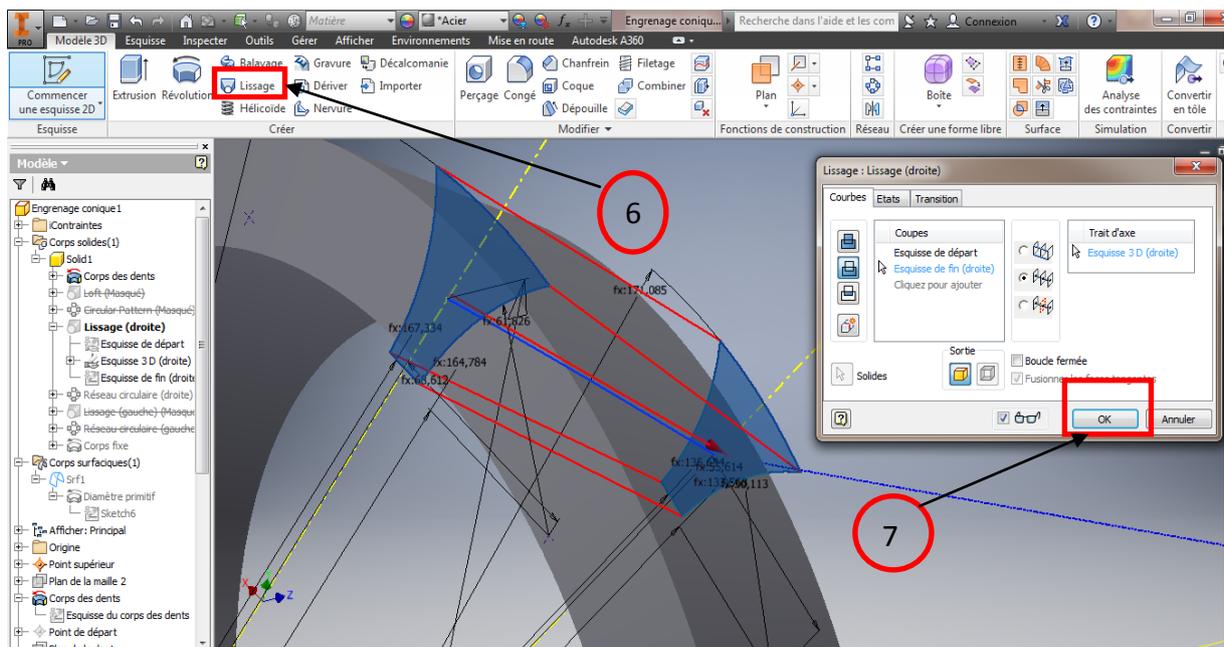


Figure 4.6 : opération de lissage (droit).

Chapitre 4 Méthodologie de génération

L'opération de réseau comme indiqué par la figure 4.7 consiste dans la multiplication de la dent par le nombre sur la circonférence du corps

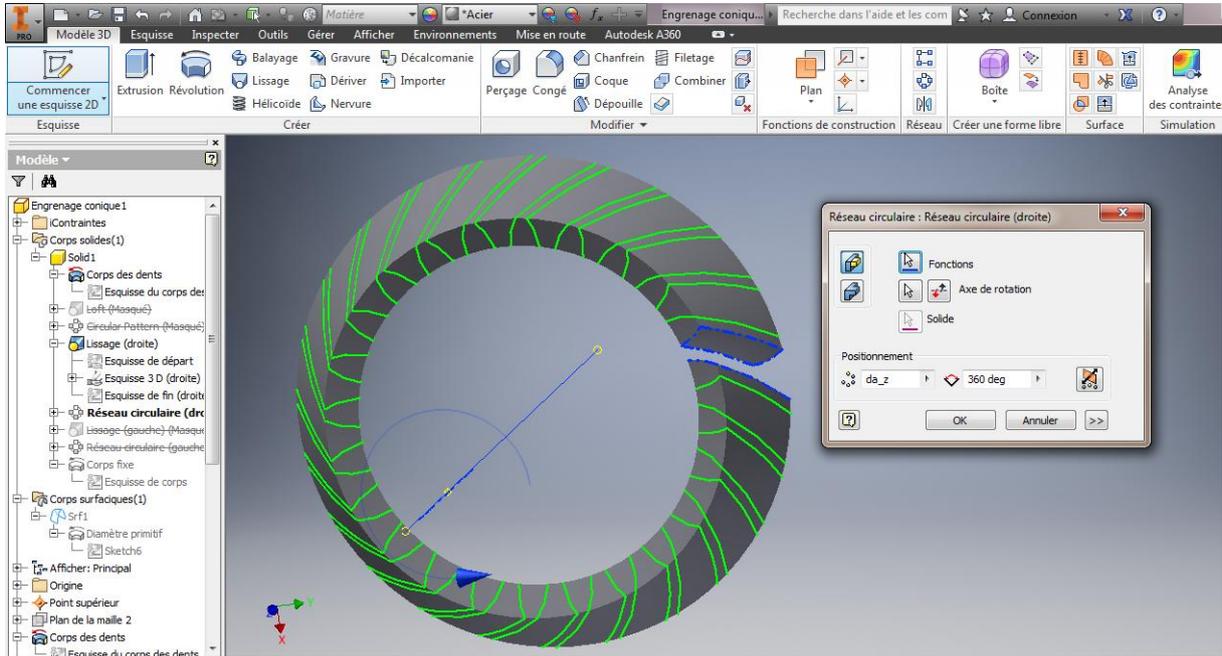


Figure 4.7 : réseau circulaire des dents.

- **Quatrième étape: Finalisation de la roue dentée**

Cette étape consiste dans la finalisation des dents par des chanfreinages au niveau des têtes des dents et des congés au niveau des pieds comme indiqué par les figures 4.8 et 4.9. Le pignon ainsi généré est indiqué par la figure 4.10.

L'opération de chanfreinage se déroule comme suit:

Nous cliquons sur 8 ensuite sur 9 (figure 4.8).

L'opération des congés se déroule comme suit:

Nous cliquons sur 10 et en fin par 11 nous obtenons le pignon indiqué par la figure 4.9.

Chapitre 4 Méthodologie de génération

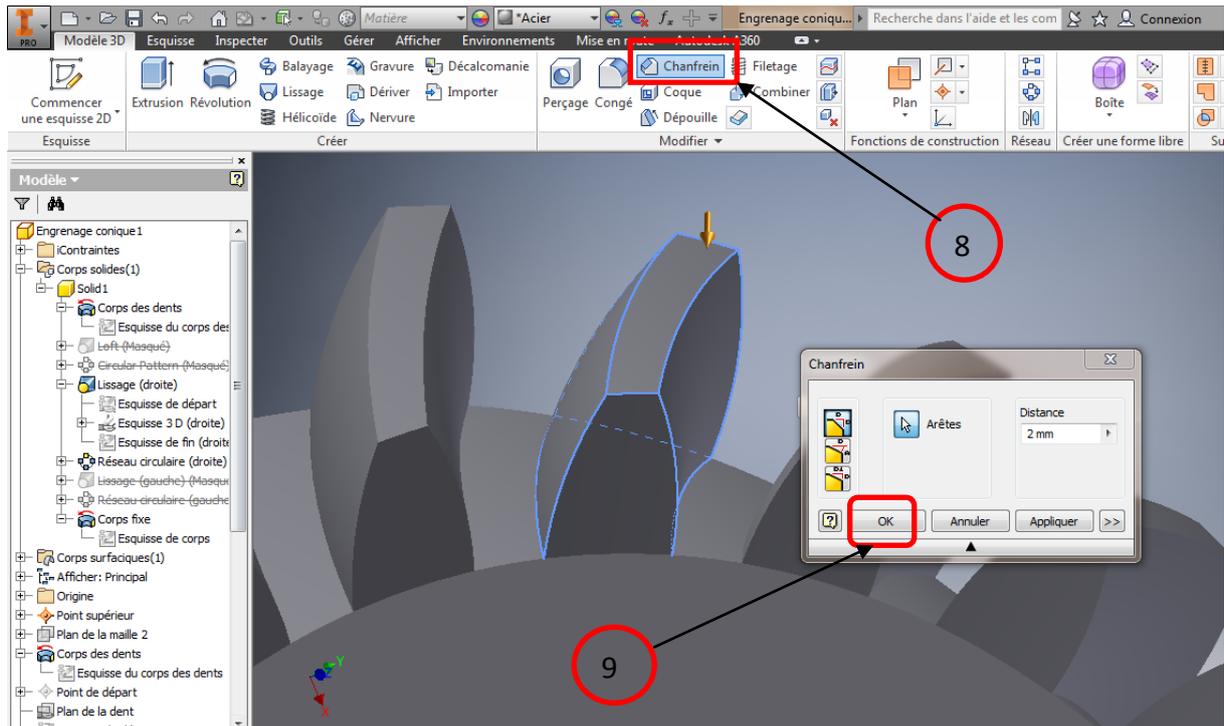


Figure 4.8 : chanfreinage des dents.

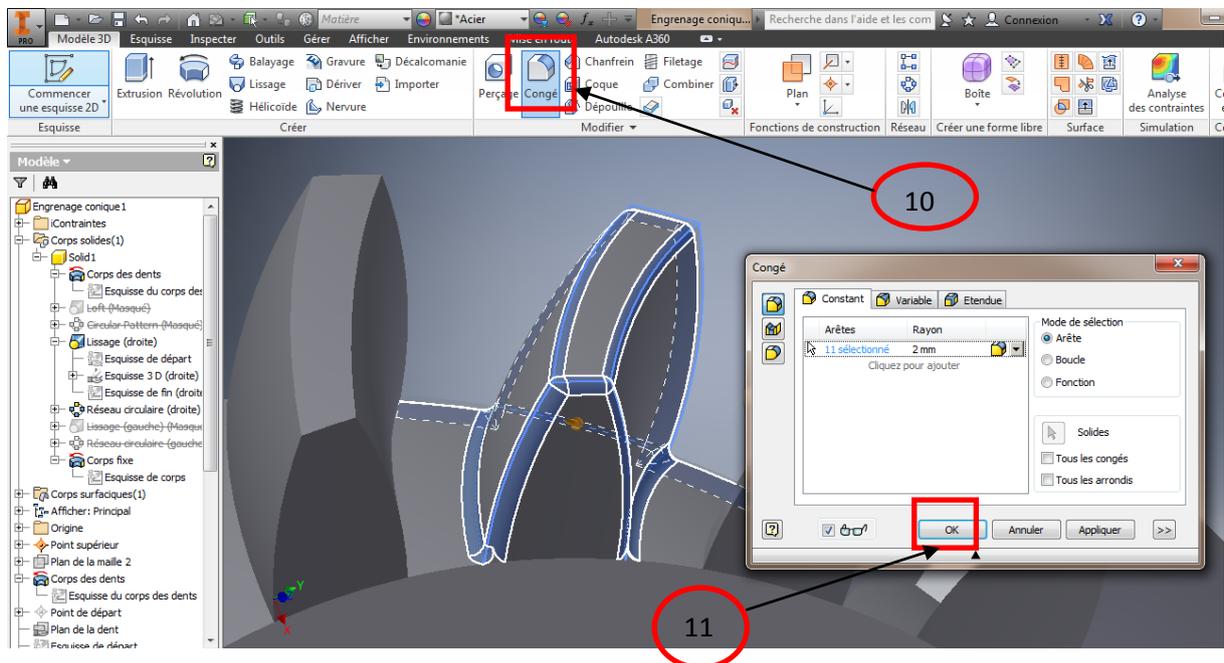


Figure 4.9 : congé.

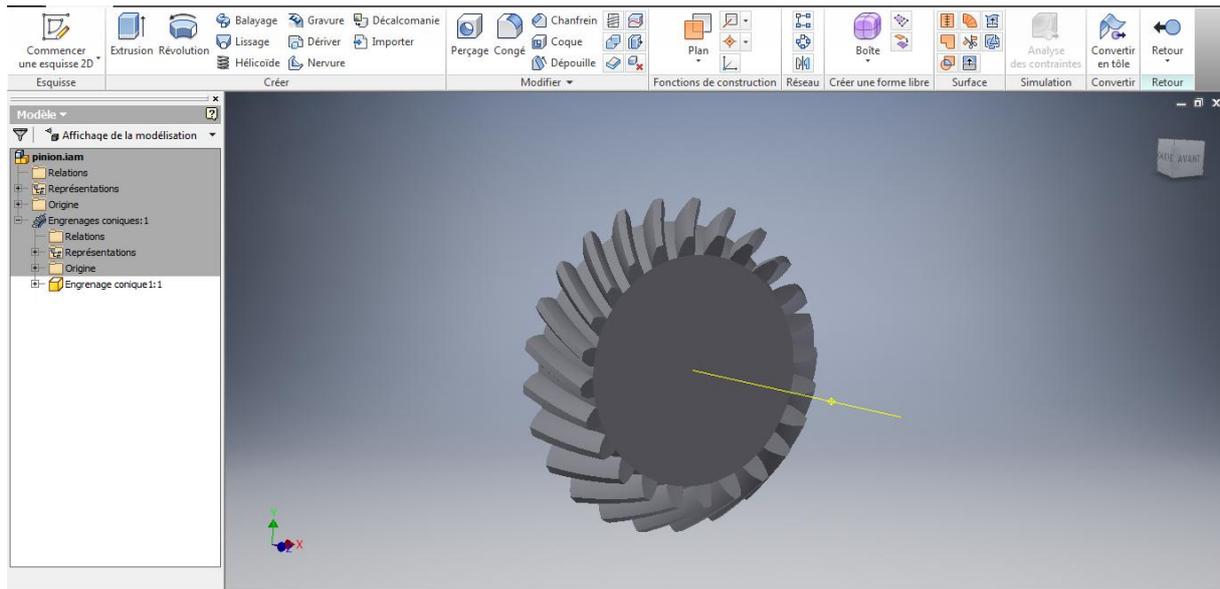


Figure 4.10 : le pignon.

3.2. Génération de la roue

Nous suivons les quatre étapes définies précédemment pour la génération du pignon indiqués par les figures 4.11, 4.12, 4.13 et 4.14. La différence réside dans l'opération du réseau (figure 4.15) où le nombre de dents doit être celui de la roue définis dans le tableau 4.1, après cette opération nous obtenons la roue indiquée par la figure 4.16.

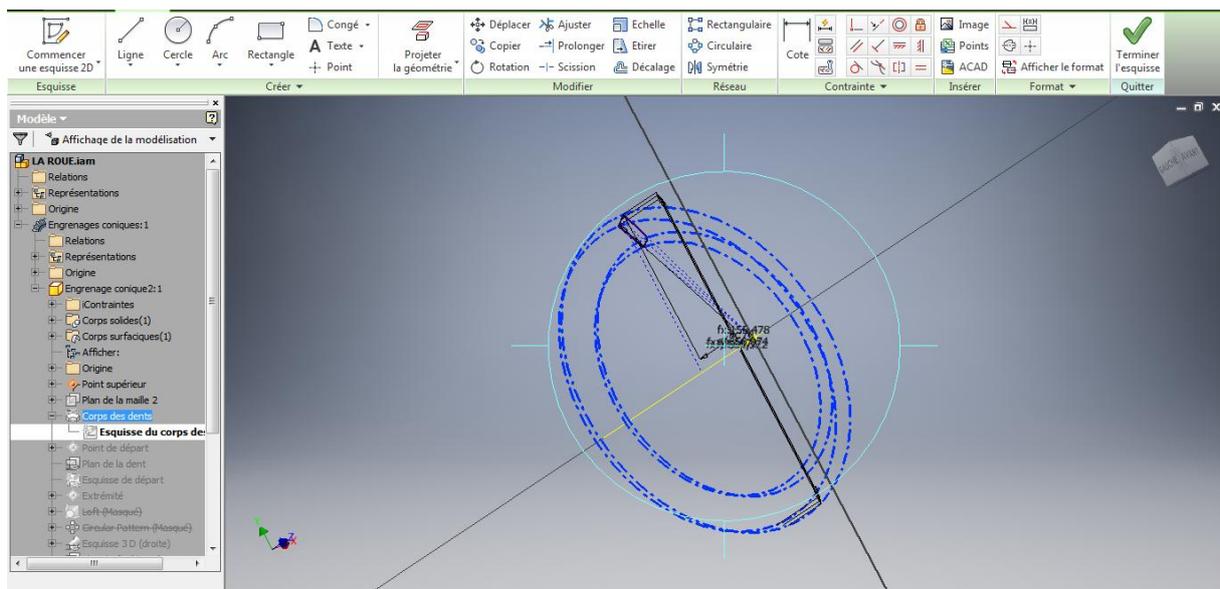


Figure 4.11 : génération de l'esquisse.

Chapitre 4 Méthodologie de génération

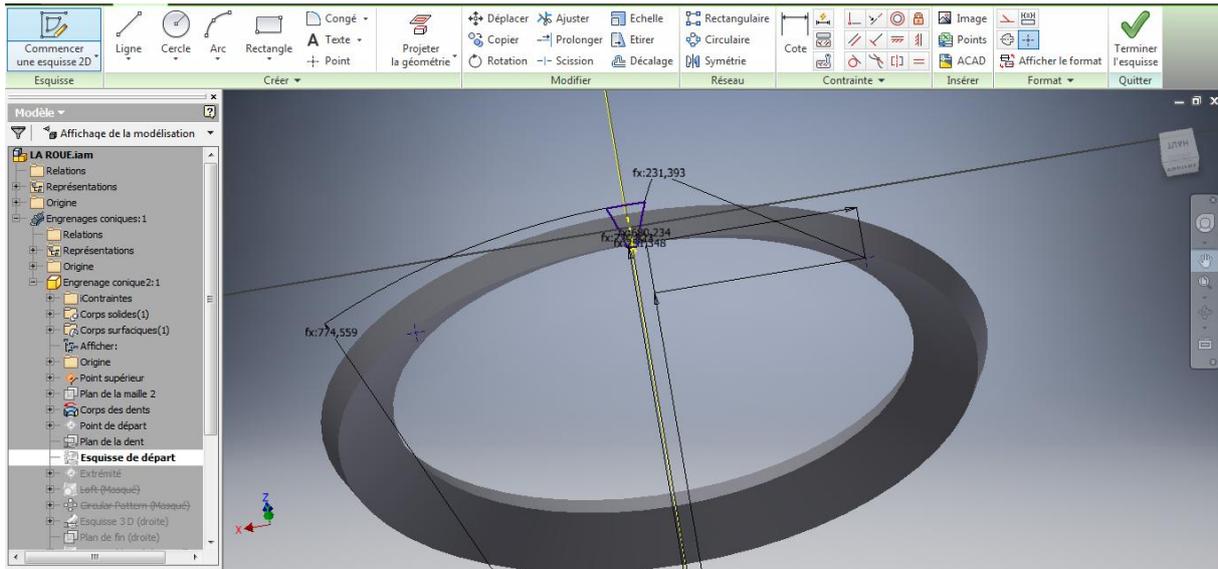


Figure 4.12 : l'esquisse du départ de la dent.

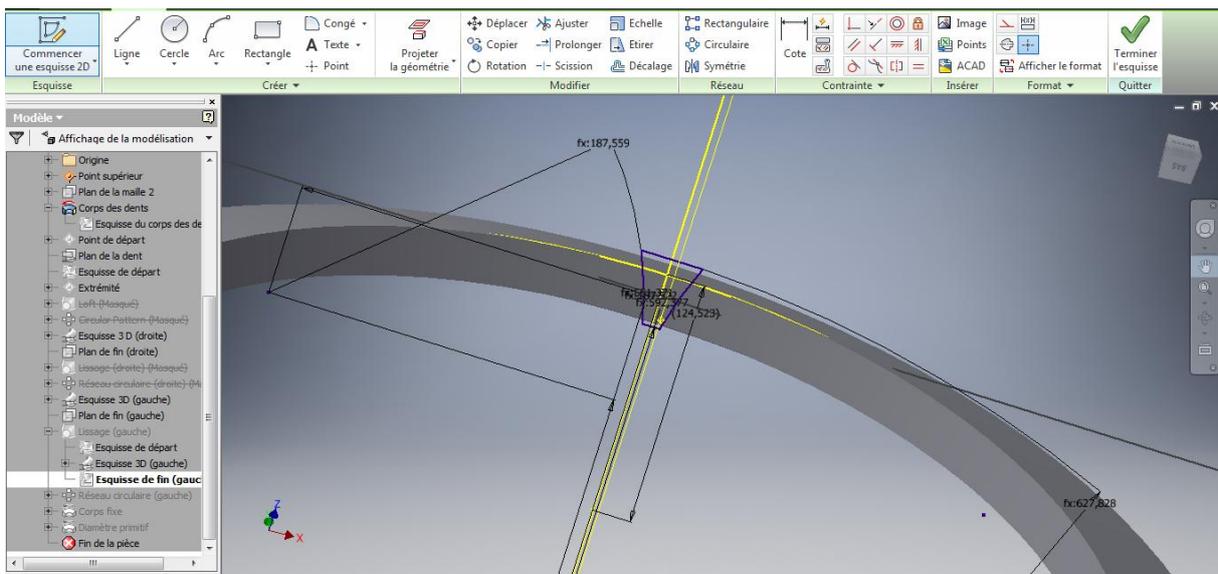


Fig4.13 : l'esquisse du fin de la dent.

La figure 4.14 représente un changement de la direction de l'angle d'hélice des dents pour assurer l'engrènement du pignon et de la roue (lissage gauche).

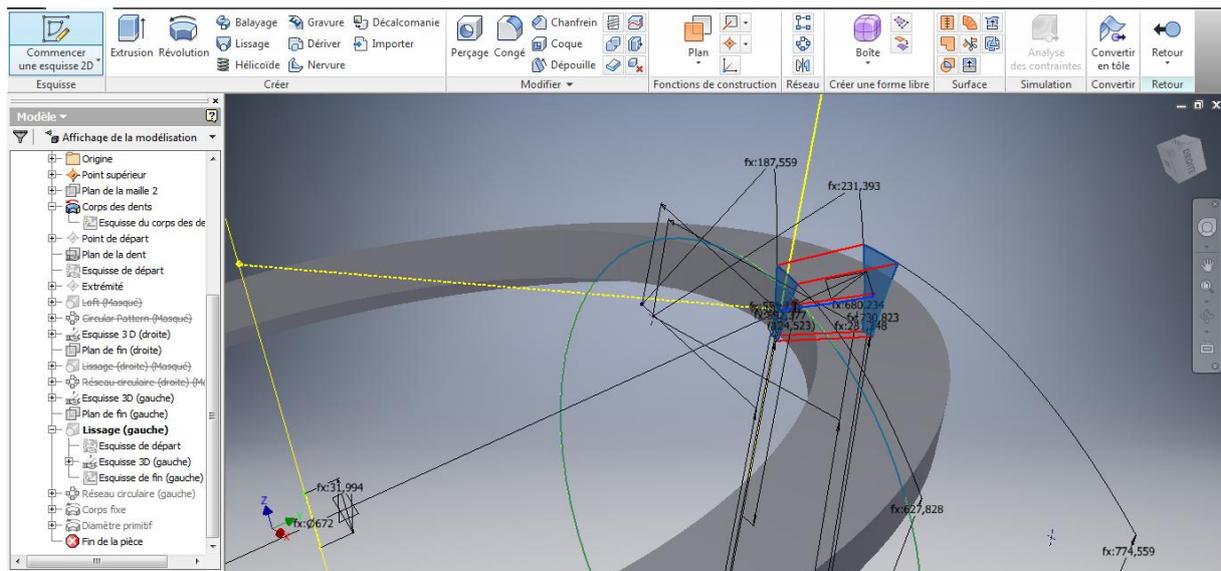


Figure 4.14 : opération de lissage (gauche).

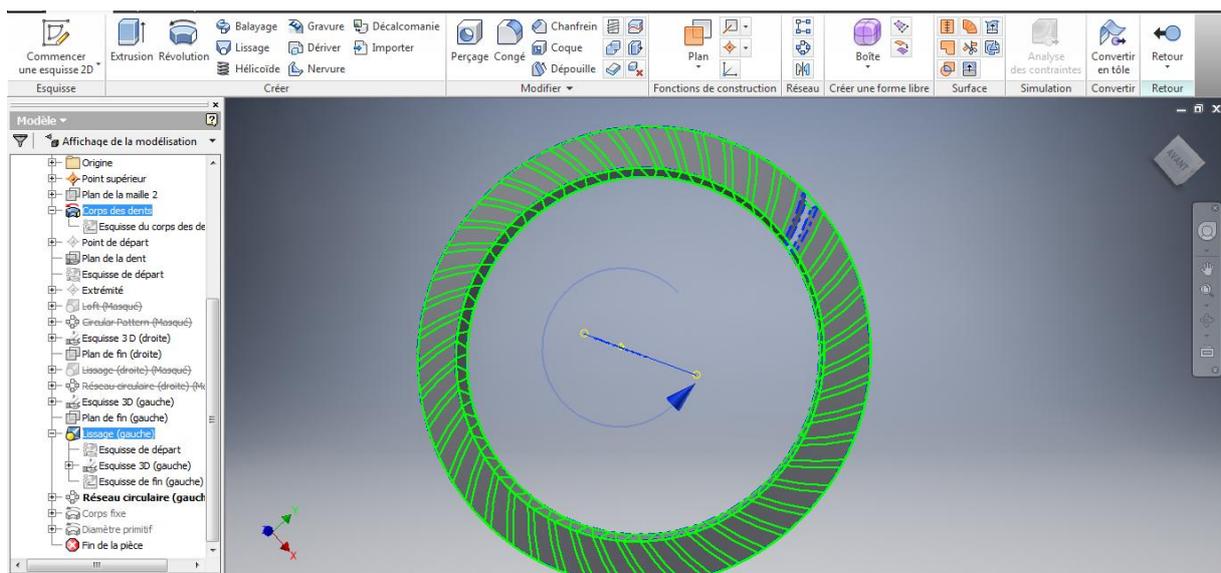


Figure 4.15 : réseau circulaire des dents.

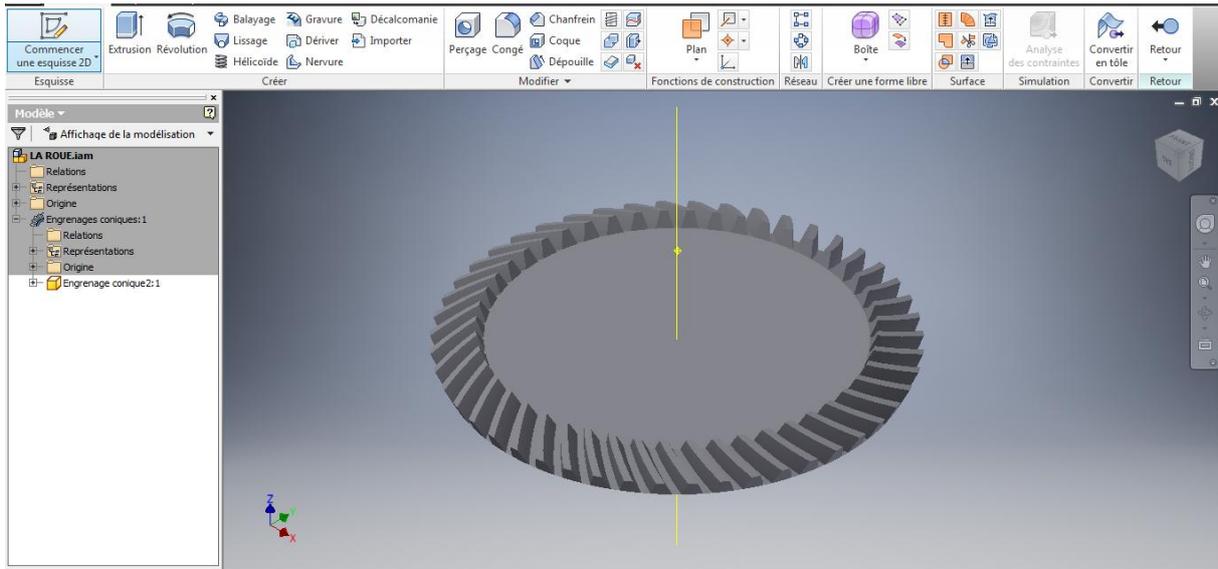


Figure 4.16 : la roue.

3.3 Montage de l'ensemble

Le montage de l'ensemble est indiqué par la figure 4.17. Celle est obtenue par le désigne modeler d'Inventor Indiqué par les figures 4.18 et 4.19 et les différentes caractéristiques sont affichés par la figure 4.19

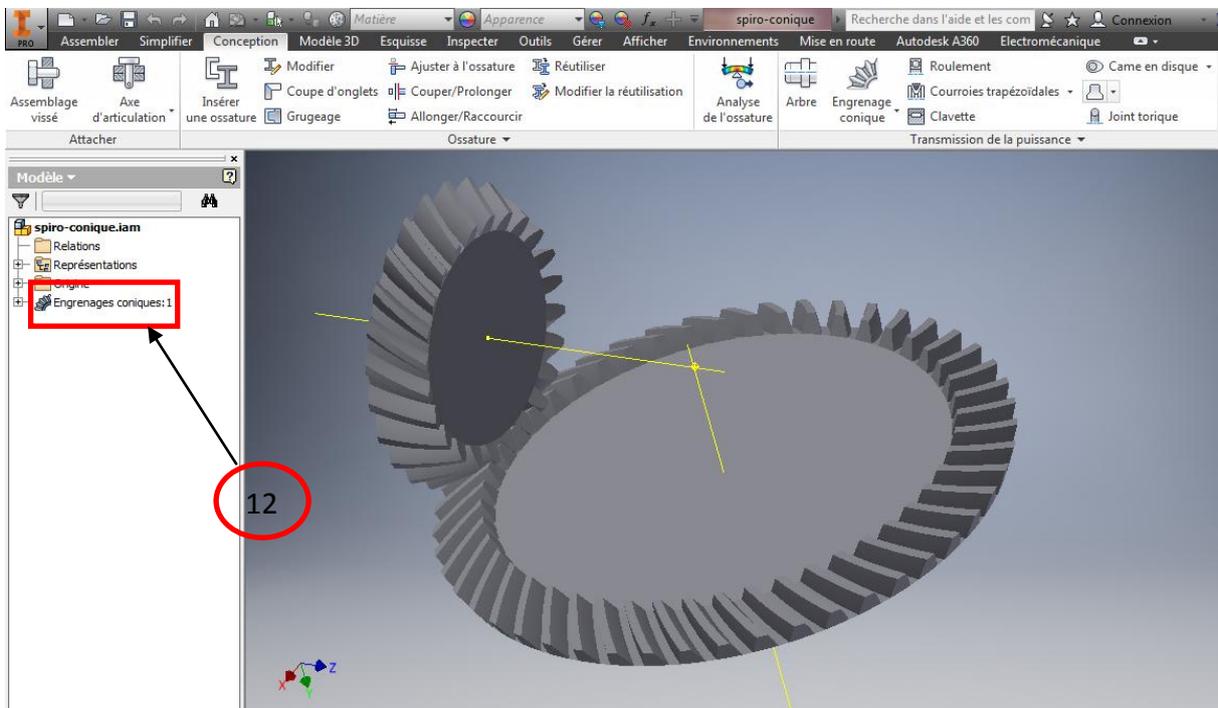


Figure 4.17 : montage de l'ensemble roue pignon.

Chapitre 4 Méthodologie de génération

Montage du couple en clique sur 12

La génération des caractéristiques sont indiqués par les figures 4.18 et 4.19

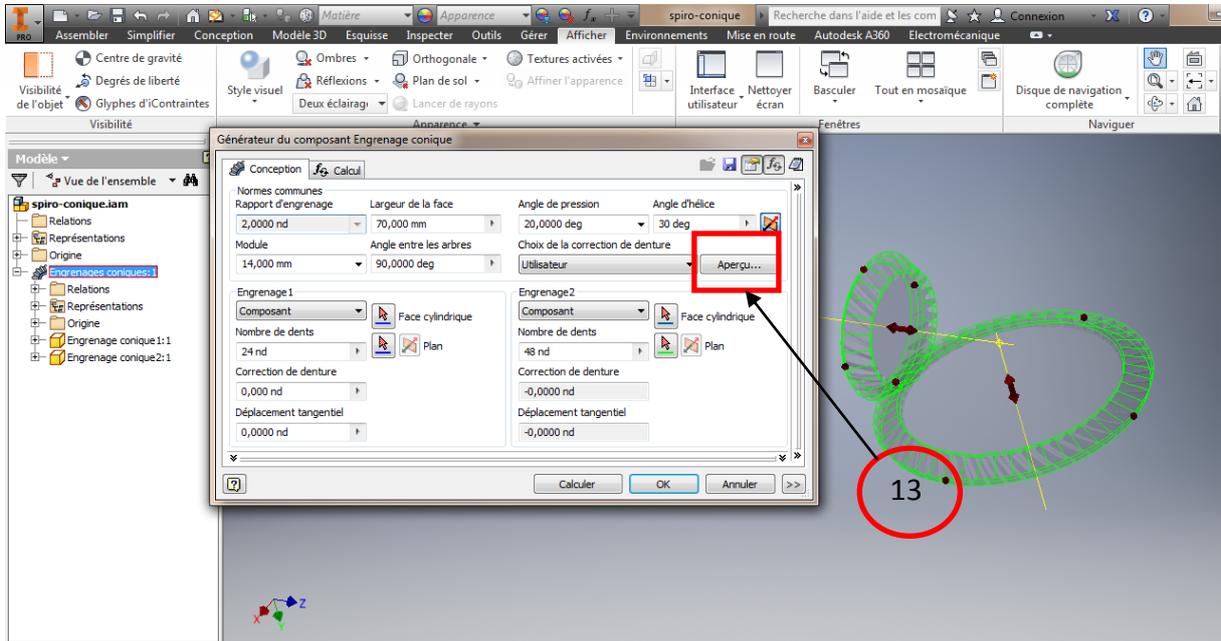


Figure 4.18 : génération der composant d'engrenage conique.

Génération des caractéristiques en cliquant sur 13

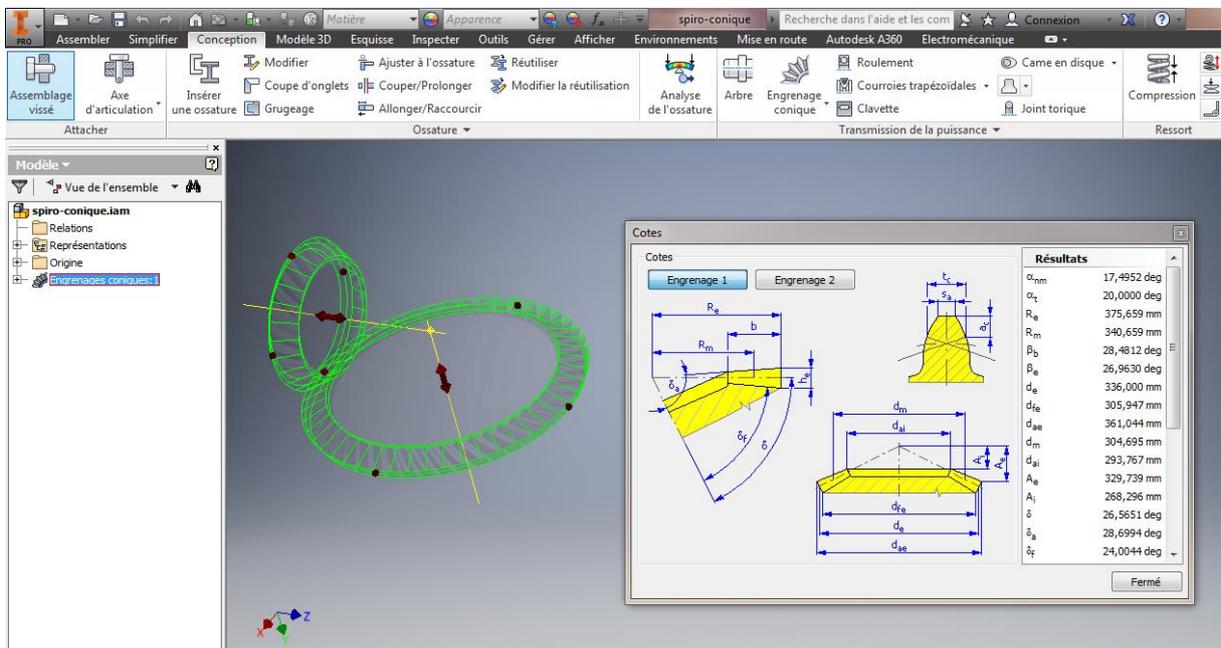


Figure 4.19 : les cotes.

Affichage des caractéristiques de l'engrenage

4. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, la procédure de génération d'un couple d'engrenages spiro coniques par l'utilisation des outils graphique et paramétrer. Nous avons développé une méthodologie pour pouvoir réutiliser les couples d'engrenages pour d'autres dimensions par les paramétrages des dimensions qui font partie intégrantes du logiciel Inventor. La génération des couples s'est effectuée en quatre étapes distinctes. Un lissage est un chanfreinage a été utilisé pour avoir des situations réaliste.

Conclusion générale

Les difficultés liées à la géométrie des engrenages coniques ont fait qu'un monopole international est détenu par trois fabricants qui sont Gleason, Klingelnberg et Oerlikon, et on définit des géométries à chaque type de machine. Nous avons présenté dans ce mémoire la procédure de génération d'un couple d'engrenages spiro coniques par l'utilisation des outils graphiques et paramétrés. Nous avons développé une méthodologie pour pouvoir réutiliser les couples d'engrenages pour d'autres dimensions par le paramétrage des dimensions qui font partie intégrantes du logiciel Inventor qui respecte les formes de denture liées aux machines et des outils de fabrication des constructeurs actuels (Gleason, Klingelnberg et Oerlikon).

La génération des couples s'est effectuée avec le logiciel Inventor par une programmation paramétrée en quatre étapes distinctes avec un lissage et un chanfreinage pour avoir des situations réalistes. La génération paramétrée a été choisie pour ces avantages de réutilisation de modèle et son exportation vers d'autres logiciels en vue d'une possible programmation par commande numérique. Il est à remarquer que la génération ainsi faite peut être interfacée directement avec une machine à commande numérique pour la génération de programme sans passer par la programmation manuelle.

Introduction générale

Les engrenages sont des éléments de machines qui permettent de transférer un mouvement de rotation d'un arbre à un autre. Les systèmes engrenant sont utilisés depuis des milliers d'années et leur première application technique remonte à plus de 4500 ans.

Au cours des derniers siècles, l'évolution des procédés de fabrication et de taillage, parallèlement au développement des relations mathématiques qui régissent le comportement des engrenages, a permis d'en améliorer grandement la qualité de fabrication comme de fonctionnement. De nouveaux types de dentures et d'engrenages font aussi leur apparition au cours de cette période. Parmi ceux-ci, on retrouve les engrenages coniques qui permettent de transmettre le mouvement entre deux arbres concourants, et peuvent comporter une denture droite, inclinée ou spirale. Ces engrenages coniques à denture spirale sont appelés spiro-coniques, dont la conception est délicate de ce fait on fait appel au système de la conception assistée par ordinateur (CAO), par une programmation paramétrée qui fait l'objet de notre travail. La génération de ces engrenages est faite avec le logiciel Autodesk Inventor.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres distincts :

Le premier chapitre traite de l'histoire et de la génération des engrenages coniques et spiro-coniques, dans ce chapitre on retrouve les différentes techniques de taillage définies par les constructeurs actuels : Gleason, Klingelnberg et Oerlikon.

Le second chapitre présente la géométrie des engrenages coniques et spiro-coniques. En se basant sur la trigonométrie spatiale qui définit les profils théoriques à développantes sphériques sphérique et pratique par des octoïdes

Le troisième chapitre traite des techniques de générations de pièces par les systèmes de CAO. Nous retrouvons dans ce chapitre les différents modèles utilisés par les différents logiciels dans lequel nous retrouvons l'utilisation de la conception par le paramétrage, qui fera l'objet de dans le chapitre 4. Ce dernier présente la méthodologie de la génération d'un couple d'engrenage spiro conique par la méthode du paramétrage en se basant sur les courbes, les surfaces et les volumes réutilisables. Une conclusion clôture ce mémoire

Bibliographie

- [1] **T.GUERTIN**, Mesure expérimentale de l'erreur de transmission cinématique d'engrenages spiro-conique et hypoïdes, université Laval 1999
- [2] **S.SELLIM**, Analyse des facteurs influant sur la précision cinématique des transmissions par engrenages, université Constantine 2010.
- [3] **Joël TEIXEIRA ALVES**, Définition analytique des surfaces de denture et comportement sous charge des engrenages spiro-conique, INSA de Lyon.
- [4] **Chaabane ROUBA**, Modélisation de l'influence de la variation du jeu fonctionnel Sur Le fonctionnement du couple de la boîte à vitesse TW55.4, université .Constantine 2012.
- [5] **Djekaua YOUNES**, Vérification de fonctionnement des engrenages coniques, IMSI 2012.
- [6] **Benzira Med**, Optimisation des pièces et des assemblages dans le cas du logiciel Inventer, IMSI 2016.
- [7] **Pierre BÉZIER**, Courbes et surfaces pour la CFAO technique de l'ingénieur.
- [8] Livre blanc autodesk, www.autodesk.fr.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Electromécanique

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique Industrielle

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Thème

GENERATION DES ENGRENAGES SPIRO-CONIQUES SUR INVENTOR-AUTODESK

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom CHEROUR Prénom Ahmed

Nom FOUAD Prénom Fares

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Etablissement	Qualité
ADJLOUA Abdelaziz	IMSI	Président
BELARIFI Farid	IMSI	Encadreur
ABDI Ghezail	IMSI	Examineur

Juin 2018

REMERCIEMENTS

En premier lieu, Je voudrais bien remercier chaleureusement mon directeur de mémoire de Master, Monsieur le Professeur BELARIFI Farid qui a encadré ce travail Je tiens particulièrement à remercier Mr. ADJLOUA Abdelaziz de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. Mes remerciements vont aussi au Mlle. ABDI Ghezail pour avoir accepté à évaluer ce travail.

Je n'oublie pas aussi de remercier tous les enseignants de IMSI qui ont contribué à ma première année de formation et qui a eu lieu à l'Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed.

Je tiens enfin à remercier également tous mes collègues et amis pour leur soutien, conseil et aide durant ces années.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

Particulièrement à ma famille qui m'a toujours laissé la liberté dans le choix de mon cursus scolaire et qui a été toujours auprès de moi dans toutes les circonstances ainsi que son soutien moral qui m'ont permis d'arriver à ce stade et achever le travail de mon master dans des bonnes conditions.

À mes Parents,

À mes Frères et mes Sœurs,

À ma grande Famille,

À mes Amis,

À tous ceux qui m'ont apporté leur aide.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre 1 : Génération des engrenages coniques

1. Introduction.....	2
2. L'utilisation des engrenages coniques.....	3
3. Les engrenages coniques.....	3
4. Fabrication des engrenages coniques	6
4.1 Méthodes de taillage.....	6
4.1.1 Taillage avec génération.....	6
4.1.2 Taillage sans génération.....	7
4.2 Génération des dentures pour les engrenages spiro coniques.....	8
4.3 Les machine de taillages des engrenages spiro-conique.....	8
4.3.1 Taillage par la machine Gleason.....	8
4.3.2 Outils.....	9
4.3.3 Mouvement de génération.....	9
4.3.4 Calcul de l'enveloppe.....	10
4.3.4.1Partie conique.....	11
4.3.4.2 Partie torique.....	12
4.4 Taillage par la machine Oerlikon.....	12
4.5 Taillage parla machine Klingelnberg.....	13
4.6 Rectification.....	14
5. Méthodes de définition des surfaces d'engrènement.....	15
5.1 Les méthodes Gleason/ Klingelnberg/Oerlikon.....	15
6. Conclusion.....	16

Chapitre 2 : Géométrie des engrenages spiro-conique

1. introduction.....	17
2. Définition des paramètres coniques droits et spiro-coniques.....	20
3. Méthodes d'obtention des engrenages spiro-conique.....	21
3. 1 Méthode des roulettes.....	21
3.2 Méthode des enveloppes.....	22
4. Forme de la courbe directrice.....	23

5. Profils conjugués.....	24
5.1 La développante de sphère.....	24
5.2 Dentures octoïdes.....	26
5.2.1Caractéristiques.....	27
5.3 Hauteur de la dent.....	27
5.3.1 Denture à hauteur variable.....	27
5.3.2 Denture a Hauteur Constante.....	28
6. Corrections de denture.....	29
7. Conclusion.....	33

Chapitre 3 : Modélisation des systèmes de la conception assistée par ordinateur

1. Introduction.....	34
2. Les différents logiciels de la CAO.....	35
3. Modélisation paramétrique.....	35
3.1 La modélisation paramétrique facilite les modifications.....	36
3.2 La conception fonctionnelle pour simplifier la tâche.....	37
3.3 Défis liés à la modélisation paramétrique.....	38
4. La modélisation directe.....	39
5. Modélisation paramétrique ou directe.....	40
6. Génération des courbes et les surfaces.....	40
6.1 Les courbe.....	40
6.1.1 Différent types des courbes.....	41
6.2. Les splines.....	42
6.2.1 Répartition de la valeur du paramètre.....	42
6.2.2 Les défirent type splines.....	43
6.3 Les surface.....	43
6.3.1 Les différents types des surfaces.....	44
7. Conclusion.....	46

Chapitre 4 : Méthodologie de génération

1. Introduction.....	47
2. Approche algorithmique.....	47
2.1 Différentes étapes de la procédure préliminaire.....	47
2.2 Procédure d'assemblage.....	48
3. Procédure de la génération des engrenages spiro-conique.....	49
3.1 Génération du pignon.....	49
3.2. Génération de la roue.....	54
3.3 Montage de l'ensemble.....	57
4. Conclusion.....	59
Conclusion générale.....	60
Références Bibliographiques	
Annexe A	
Annexe B	