

ENGRENIX



Sommaire

Préambule :	*P1*
L'auteur :	*P2*
La méthode :	*P2*
Les ressources utilisées :	*P3*
Le programme :	*P4*
L'installation :	*P5*
Les commandes de visualisation :	*P5*
Les Commandes de manipulation des entités graphiques	*P7*
Les commandes de configuration diverses	*P7*
Les commandes de génération de fichiers :	*P8*
Les commandes de langues :	*P9*
Les commandes de génération de profils	*P10*
Les fichiers de configuration et annexe :	*P11*
Les boites de dialogue :	*P14*
Génération de moyeu	*P16*
Génération de flasque de fixation	*P17*
Génération de roues/pignon à denture en développante de cercle	*P18*
Génération de couronnes à denture en développante de cercle	*P19*
Génération de crémaillère	*P20*
Génération de pignons à chaine	*P21*
Génération de pignons cage (lanterne)	*P22*
Génération de roues pour pignons cage (lanterne)	*P23*
Génération de cannelures droites	*P24*
Edition des paramètres d'usinage	*P25*
Géométrie des pignons à chaine :	*P27*
Géométrie des dentures extérieures en développante de cercle	*P28*
Géométrie des dentures intérieures en développante de cercle	*P34*
Géométrie des roues à pignon cage « lanterne »	*P35*
Comment générer des pignons hélicoïdaux	*P38*

Préambule :

J'ai longtemps cherché sur le Net un programme Open Source qui me permette de créer facilement des profils d'engrenages sur-mesure... sans jamais trouver chaussure à mon pied. Face à mes déceptions, je me suis lancé un défi : concevoir mon propre chaînon manquant.

C'est ainsi qu'est né **ENGRENIX** !

(Je vois déjà dans la salle les petits malins qui m'accusent de plagiat d'Astérix  .

Non !, ne vous en déplaise : bien que ce programme soit fièrement développé en France ,

messieurs Uderzo et Goscinny  *n'ont rien à voir là-dedans !)*

Le but d'ENGRENIX ? Simplifier la réalisation et la visualisation (via votre CAO) d'engrenages destinés à être coupés au laser, au jet d'eau, ou même fraisés sur une petite CNC numérique (style CharlyRobot).

Depuis la version 0, le personnage Engrenix (à l'image des diverses versions d'Asterix) s'est affiné, corrigé. L'apparition de nouvelles aventures (création de crémaillères, de canelures), génération de profils pour pignons hélicoïdaux … correction de bugs et ? surtout en ce qui concerne cette documentation, on est passé d'un « strip » à un album conséquent comportant tous les aspects (théoriques et pratiques) du logiciel.

L'auteur :

Yves Cordier, initialement un professeur de construction mécanique puis durant plus de vingt ans le « chef des travaux » (aujourd'hui on dit DDFPT qui est sois disant plus explicite. Mais force est de constater que personne ne comprend plus qu'avant la fonction exercée au sein d'un lycée technologique!) du lycée de Briançon (05). Maintenant à la retraite bien active …

La méthode :

Le tracé de dents d'engrenage fait appel à courbes qui pour la plupart sont loin de la simplicité d'un arc de cercle. Ces courbes (développantes de cercles, trochoïdes, épicycloïdes …) seront interpolés par des courbes de Bézier. Par équité auprès de leurs auteurs, on devraient plutôt les nommer Bezier-Casteljau du nom de leurs géniteurs.



Pierre Bezier 1910-1999
Ingénieur à la régie Renault

https://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre_B%C3%A9zier



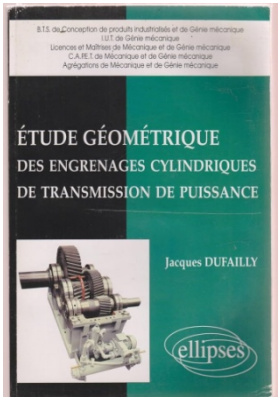
Paul de CastelJau 1930-2022
Mathématicien chez Citroen

https://fr.wikipedia.org/wiki/Paul_de_Casteljau

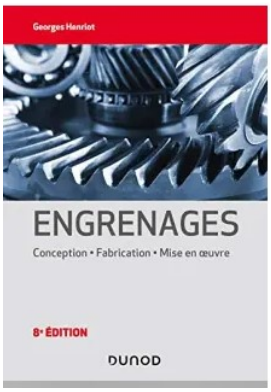
Ces courbes sont en fait des courbes polynomiales dont le degré est déterminé par le nombre de points de contrôle (handles dans le jargon de la « perfide Albion » !) (degré=nombre de points de contrôle-1). A la base on pourrait penser que l'augmentation du degré de ces courbes amènerait à interpoler les courbes initiales plus finement. En fait, l'augmentation du degré provoque souvent des ondulations de la courbe entre les points de passage dont l'amplitude est souvent supérieures à l'erreur faite en interpolant avec un degré relativement faible Ce phénomène est bien connu des '*matheux*' sous le nom du ***piège de Runge*** (.mathématicien allemand 1856-1927 plus connu par son travail de résolution des équations différentielles par la méthode de Runge-Kutta  -- Kutta mathématicien allemand 1867-1944--)

Les machines d'usinage à commande numérique ont-elles aussi une précision limitée et donc, essayer de définir une courbe avec une précision supérieure à celle que l'on sait réaliser relève d'une satisfaction mathématique mal placée. 4, 5 ou 6 points de contrôle (degré 3,4 ou 5) suffisent souvent très largement. Il faut se rappeler qu'un petit morceau d'arc de cercle est relativement bien interpolé par une courbe du 2ème degré (3 pôles de contrôle).

Les ressources utilisées

Outre les multiples ressources glanées sur Internet, la principal source se situe dans la « bible » du sieur Jacques Dufailly (


.) laquelle est plus digeste que le mythique *Traité théorique et pratique des engrenages* (devenu ensuite *Engrenages : Conception, fabrication, mise en œuvre*) de **Georges Henriot 1921-2009** (ingénieur des Arts & Métiers, ancien Directeur général technique de la société Engrenages et Réducteurs).



Note : Jacques était beaucoup plus jeune (et moi aussi) lorsqu'il m'a enseigné les arcanes des engrenages à l'ENS Cachan dans les années 80. Je dois bien ici avouer que je n'avais pas tout compris à l'époque (et de loin)….

Si vous cherchez un simulateur CNC pour valider les codes CNC (ISO) générés, https://ncviewer.com fourni un outil en ligne qui fonctionne bien

En ce qui concerne les fichiers DXF générés, ils sont compatibles avec *SolidWorks Feecad* (https://www.freecad.org). Pour la visualisation, vous pouvez utiliser le module gratuit *edrawing* développé par *Dassault system* . L'utilisation de *Qcad* et *libreCad* en mode gratuit (je n'ai pas essayé la version payante !) pose un problème : ces logiciels se restreignent à une version ancestrale de définition des courbes splines d'*Autocad* soit à un degré maximal de 3 (4 points de contrôle). Ils n'interpolent pas les courbes de degré supérieur, ils les ignorent. Sur le web, vous trouverez plusieurs outils de visualisation en ligne. Parmi ceux que j'ai testés, Allinpdfd (https://alinpdf.com) est rapide et semble ne pas avoir de problèmes de degré de courbes splines ni de précision.

Le programme :

Le programme est disponible en téléchargement sur le site http://altituduino.com dans la rubrique téléchargement sous rubrique mécanique. Il est fourni 'zippé'.

Le programme est écrit en java est livré « portable » il n'a donc besoin d'aucunes dll externes et peut donc s'installer sur n'importe quel support (clef disque …) avec une autorisation de lecture et d'écriture.

Il possède plusieurs sous répertoires ou sont stockés les ressources utiles à son fonctionnement. Il est sérieusement déconseillé de les modifier !

Il est libre de diffusion et s'il vous plait, ne vous gênez surtout pas pour le proposer à votre entourage (du moins le lien de téléchargement afin d'avoir toujours la dernière version !)

L'Installation

- Décompactez le programme dans un répertoire de votre choix
- Créez un raccourci sur le fichier engrenix.exe
- Associez un icône que vous trouverez dans la racine du programme (engrenix.ico)

Voila c'est fini à vous de jouer.

juste un petit conseil :
ouvrez le programme avec les options du fichier initial global.ini, activez le son puis fermez le programme –Bon ski !--.
Si vous êtes plutôt été : changer dans global.ini claree_hiver.jpg par claree_ete.jpg

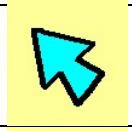
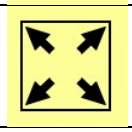
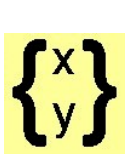
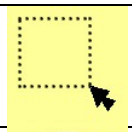
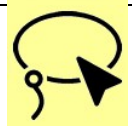
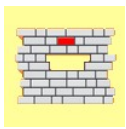
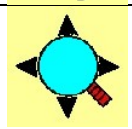
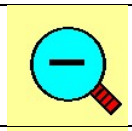
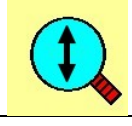
Si vous êtes  *mettez end.jpg et remplacer le champ WALLPAPER=lapin.jpg*
Voila, vous avez compris comment adapter le visuel !

Les commandes de visualisation

Note :

- Les commandes sont assez intuitives et conformes aux normes actuelles des systèmes de DAO CAO FAO…
- Les commandes de visualisation, pour la plupart peuvent être introduites au clavier. Cette solution est à envisager lorsque les modifications des fenêtres (déplacement agrandissement …) amènent à masquer les icones de commande. Un <Alt><h> suivi d'un <Alt><a> permet de se sortir d'un mauvais pas.

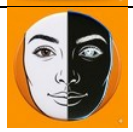
Icone	Rémanentes	Explications	Alternatives clavier

	Non	Remet toutes les fenêtres à leur position d'origine	<Alt><h> ou <Alt><H> « Home »
	Oui	Bascule le curseur en mode flèche pour sélectionner les fenêtres	
	Non	Zoom tout	<Alt><a> <Alt><A> « All »
	Oui	Affiche un curseur de coordonnées locales et, en bougeant la souris (touche enfoncée), donne la distance et l'angle du vecteur depuis le point initialement pointé.	
	Oui	Zoom fenêtre	
	Oui	Sélection des entités par encadrement	<Alt><x> <Alt><X> Désélectionne toutes les entités sélectionnées
	Oui	Sélection des entités par block Les blocs d'entités sélectionnées sont dessinés en vert. Le bouton droit permet de ne sélectionner que le bloc pointé, le bouton gauche ajoute le bloc à la sélection.	<Alt><x> <Alt><X> Désélectionne toutes les entités sélectionnées
	Oui	Sélection des entités pour informations. Les entités sélectionnées sont dessinées en vert. Le bouton gauche ajoute/retranche à la sélection, le bouton droit ne garde que l'entité sélectionnée	<Alt><x> <Alt><X> Désélectionne toutes les entités sélectionnées
	non	Redessine l'intégralité des fenêtres (efface les dialogues)	<Alt><r> <Alt><R> « Redraw »
	Oui	Zoom et déplacement combiné : -roulette : zoom plus ou moins -déplacement global si touche enfoncée	Les flèches droites gauche haut et bas déplacent l'image. Associé à la touche <Ctrl>, elles déplacent par pas important
	Oui	Zoom moins à partir du point cliqué	<Ctrl><-> Zoom moins à partir du centre de la fenêtre
	Oui	Zoom plus à partir du point cliqué	<Ctrl><+> Zoom plus à partir du centre de la fenêtre
	Oui	Zoom roulette à partir du centre de la fenêtre	

Les commandes de manipulation des entités graphiques

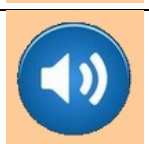
Note :

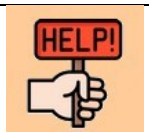
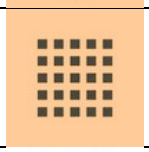
- <Alt><x> ou <Alt><X> permet de d'annuler facilement la sélection des entités.
- Attention les commandes textuelles ne sont pas active si une fenêtre de dialogue est en cours.

Icone	Rémanentes	Explications	Alternatives clavier
	Non	Efface l'intégralité des entités graphiques (coup de balais général)	<Alt><d> <Alt><D> « Destroy »
	Oui	Efface les entités graphiques sélectionnées (en vert)	<Del>
	Non	Bascule l'entité des entités graphiques sélectionnées en mode non sélectionnées et les autres en mode sélectionnées (« toggle » commande).	<Alt><t> <Alt><T> « Toggle »
	Oui	Change le sens des entités sélectionnées.	<Alt><f> <Alt><F> « Flip »
	Oui	Recherche les entités chainées à celles pointée et les ajoute à la sélection.	<Alt><c> <Alt><C> « Chain »

Les commandes de configuration diverses

Note :

Icone	Rémanentes	Explications	Alternatives clavier
	Non	Affiche les caractéristiques du programme	
	Non	Ouvre une fenêtre de dialogue permettant de modifier les paramètres généraux correspondant à la génération de fichiers	
	Non	Bascule le mode sonore (Oui/Non) (CF paramètre général SOUND)	

	Oui	Bascule du mode aide sur icône à aucune aide (utile pour processeurs lents) (CF paramètre général HELP)	
	Oui	Bascule l'affichage du polygone générateur des courbes de Bézier (Oui/non) (CF paramètre général POLY).	
	Oui	Bascule l'affichage du sens de parcours des entités (Oui/Non) (CF paramètre général ARROW).	
	Oui	Bascule l'affichage des extrémités des entité (Oui/Non) (CF paramètre général EXTREM).	
	Oui	Bascule l'affichage de la grille (Oui/Non) (CF paramètre général GRID).	
	Non	Fin de programme	
	Non	Acceptation des modifications de la boite de dialogue	<Ctrl><Enter>
	Non	Refus des modifications de la boite de dialogue	<Esc>

Commandes de génération de fichiers :

Note :

- Par sécurité vis-à-vis des répertoires du programme, il est impossible d'écrire ces fichiers dans le répertoire principal du programme ni dans aucuns sous répertoires.
- La génération des entêtes et fin de fichiers sont conforme aux fichiers définis dans le sous répertoire config (isoheader.cnc, isofooting.cnc, dxfheader.dxf , dxffooting.dxf). Les fichiers ***cnc*** sont modifiables par un éditeur de texte ASCII pour adapter à votre matériel. En ce qui concerne les fichiers ***dxf***, vous pouvez aussi les modifier, mais je ne garanti pas de la portabilité des fichiers dxf générés. Ces derniers ont été créés en copiant et adaptant des morceaux de fichiers dxf de *LIBRECAD* et, leurs modifications nécessitent une bonne connaissance de l'interface dxf d'*AUTOCAD* !!
- Lors de la génération de fichiers iso (CNC), seul les entités en trait plein font l'objet de création de parcours d'outil.

- Attention pour les utilisateurs de versions modernes de Window : depuis W10 dernières versions, il est interdit à l'utilisateur lambda de créer des fichiers dans la racine du disque dur C:\
  Si vous essayer de créer le fichier CNC C:\test.cnc produira une erreur.
  Créez un sous répertoire « travail » et générez vos fichier dans ce répertoire.
  Autre solution : exécuter *Engrenix* en tant qu'administrateur (mais cela est une autre histoire peut-être ?!).

- Certains logiciels de CAO sont très pointilleux sur la structure des ***.dxf***.Depuis la version 2.1 de Engrenix, les fichiers *.dxf* sont (du moins à partir de mes essais !) compatibles avec *Autocad, SolidWoks* et *Freecad* . La relecture de ces fichiers à l'aide de *LibreCad* ou *Qcad* (versions gratuites) peut provoquer des oublis de profils car ces deux logiciels ne reconnaissent pas les courbes splines et bézier de degrés supérieur à 3 (4 points de contrôle). Si par mégarde votre logiciel ne comprends pas le fichier dxf généré, la solution est de le faire digérer par un logiciel gratuit peu chatouilleux (***freecad*** recommandé https://www.freecad.org) et de demander à ce dernier de réécrire le fichier. Une alternative pour la visualisation se trouve dans le programme (version de démo) *DXF Editor* (https://dxf-editor.fr.softonic.com/) programme à installer sur votre PC et qui est lui aussi configurable en multilangues.

Icone	Rémanentes	Explications	Alternatives clavier
	Non	Génère le fichier dxf correspondant à l'affichage graphique	
	Non	Génère le fichier iso (langage CNC) correspondant à l'affichage graphique. Prends en compte les paramètres généraux de jeux, diamètre outil. Pour décaler les trajectoires en mode « centre outil » (Les graveuses laser ne comprennent pas les modes G41 et G42 !)	

Les commandes de langues :

Note :

- Actuellement, le programme est traduit en 14 langues (les plus parlées dans la communauté européenne plus l'Ukrainien). Il est possible de basculer les messages du programme dans les diverses langues en cliquant sur les icones correspondants aux pays.
- Ce programme se veut aussi *pédagogique* pour réviser les pays de l'EU (pas tous !). Si l'option son est activé, vous aurez en prime un aperçu de l'hymne du pays …

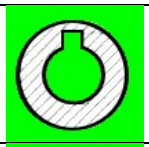
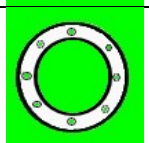
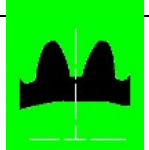
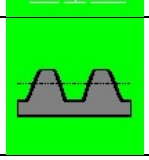
Icone	Langue
	France
	Espagne
	Ukraine
	Suède
	Roumanie

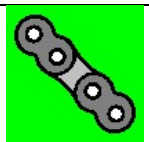
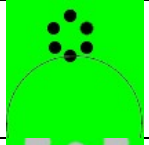
Icone	Langue
	Portugal
	Pays bas
	Hongrie
	Grèce
	Angleterre (langue anglaise)

Icone	Langue
	Hongrie
	Tchéquie
	Allemagne
	Italie

Les commandes de génération de profils

Note : Se reporter aux pages suivantes pour plus d'explications concernant les paramètres à donner pour la génération

Icone	Rémanentes	Explications	Alternatives clavier
	Non	Génération de profils de moyeu claveté	
	Non	Génération de profil d'un disque de fixation de couronne denté	
	Non	Génération de profil de couronne dentée (intérieure)	
	Non	Génération de profil d'engrenage en développante de cercle	
	Non	Génération de profil de crémaillère	

	Non	Génération de profil de roues à chaine.	
	Non	Génération de profil de pignon cage (grosse puissance, horlogerie pignons anciens)	
	Non	Génération de profil de roues conjuguées à un pignon gage	
	Non	Génération de profil de cannelures droites	

Les fichiers de configuration et annexe :

- Tous les fichiers décrits ci-dessous sont des fichiers texte et donc éditables à l'aide d'un éditeur ascii.
- Ces fichiers sont localisés dans ..data\config

global.ini

Note :

- Ce fichier contient la majorité des paramètres d'affichage et des options de visualisation au démarrage.
- Le fichier est lu au démarrage du programme.
- En cas d'absence, le programme en génère un par défaut qu'il vous appartient de modifier pour correspondre à vos besoins.

```
// ************************************************************
// file config.ini located in data\config\ subdirectory
// Global parameters. has to be edited with an ascii text editor
// ************************************************************
// Note : all text begining with  // sequence will be ignored
//        until end of line (comments)
// ************************************************************
SCREEN=AUTO// AUTO : automatic placement reduced screen FULL : fullScreen SELF : user defined placement
WALLPAPER="engrenage.jpg"// wallpaper valid image file (.jpn or .bmp)
SIZEWINX=1200// size main Window on X
SIZEWINY=1000// size main Window on Y
POSXCAO=20// position of graphic  Window on X
POSYCAO=20// position of graphic  Window on Y
SIZEXCAO=800// size graphic Window on X
SIZEYCAO=800// size graphic Window on Y
```

POSXTEXT=20// position of text Window on X
POSYTEXT=840// position of text Window on Y
SIZEXTEXT=1000// size text Window on X
SIZEYTEXT=140// size text Window on Y
POSXCMD=840// position of command Window on Y
POSYCMD=20// position of command Window on X
LANG=0// initial language
// langFR=0 langGB=1 langDE=2 langES=3 langIT=4 langPT=5 langNDL=6 langPL=7 langGR=8
langRO=9 langCS = 10 langUA = 11 langSV =12 langHU =13
FONT=""// ttf character font located in data\fonts\ subdirectory ex : "myfont.ttf"
SOUND=0// sound : -1: disable 0 : off 1 : on
TIME=1// show time on messages 0 : no 1 : yes
ARROW=0// show direction on entities 0 : no 1: yes
EXTREM=0// show extremity on entities 0 : no 1 : yes
POLY=0// show control polygon on bezier curves 0 : no 1 : yes
GRID=0// show grig 0 :no 1 : yes
ANIM=1// show animation on close 0 : no 1 : yes
ENDIMAGE="claree_hiver.jpg"// closing image valid image file (.jpg or .bmp)
ENDSOUND="end.wav"// sound at the end of program valid sound file (.wav)
// END OF FILE

cnc.ini

Note :

- Ce fichier contient les paramètres de configuration nécessaire à la génération de parcours d'outils en langage iso.
- Il est actualisé par la boite de dialogue .

*// ***
// file cnc.ini located in data\config\ subdirectory
// Global parameters. has to be edited with an ascii text editor
*// ***
// Note : all text begining with // sequence will be ignored
//   until end of line (comments)
*// ***
*// ***************** Machining parameters ***********************
*// ***
XAPP=0.0// X approch point for CNC in mm
YAPP=100.0// Y approch point for CNC in mm
SPEED=500// Laser speed in mm/min
POWER=95// Laser power in % of maxi power
DELTA=0.1// Precision of CNC in mm
MODEL=1// Laser type 0:cutting 1:milling
SPINDLE=3000// Max spindle rpm in milling mode
WORKZ=-0.2// Z Cutting in gravage mode (milling)
NOWORKZ=-0.2// Z Secure in gravage mode (milling)
// END OF FILE

gears.ini

Note :

- Ce fichier contient les paramètres de configuration nécessaire à la génération de profils graphiques.
- Il est actualisé par les boites de dialogue de création de profils :



*// *************************************
*// * actual values of gears generated **
*// *************************************
ZR=20// number wheel's of teeth
ZP=10// number pinion's of teeth
DPR=40.0000// primitive wheel's pitch (diameter)
DPP=20.0000// primitive pinion's pitch (diameter)
*M=2.00000// wheel's modul dp=m*z*
XR=0.0// wheel's deport
XP=0.0// pinion's deport
ALPHA=20.0000// wheel's contact angle (degres)
TWIST=0.00000// twist angle (degres)
STEP=8.00000// chain pitch step
ROLL=6.00000// chain roll diameter
NC=1// wheel's hub key's number
BC=6.00000// key's width
HC=5.00000// key's slot height
DEXT=60.0000// crown's external pitch (diameter)
DFIX=50.0000// crown's fixing diameter's pitch
DVIS=8.00000// screws holes pitch (diameter)
NFIX=6// number of screws holes
TOOL=0.00000// cutting's tool diameter
GAP=0.00000// gap between gears)
DEXTCAN=20.0000// spline shaft external pitch (diameter)
DINTCAN=16.0000// spline shaft internal pitch (diameter)
ECAN=2.50000// spline shaft thickness
NCAN=10// spline shaft number
RCAN=0.200000// spline shaft fillet
CHCAN=0.300000// spline shaft connection chamfer
CENTERED=0 // spline shaft internal centered
SHAFT=0 // spline shaft hub mode
CAD=1 // generation CAD mode
NP=3// nb poles of curves (degre of interpolation+1)
HEIGHT=0.00000// size of rack from footing to primitive line
// end of file

dxfheader.dxfi

Note :

- Ce fichier contient l'entête standard des fichiers dxf affin de pouvoir être lu par un système de CAO

- Attention certains systèmes de CAO sont peu tolérant aux erreurs (et ont parfois quelques lubies) concernant les fichiers dxf, et la modification « sauvage »de l'entête provoque souvent des erreurs de lecture

dxffooting.dxf

Note :

- Ce fichier contient une fin de fichier standard des fichiers dxf affin de pouvoir être lu par un système de CAO
- Attention certains systèmes de CAO sont peu tolérant aux erreurs (et ont parfois quelques lubies) concernant les fichiers dxf, et la modification « sauvage »de l'entête provoque souvent des erreurs de lecture

isoheader.iso

Note :

- Ce fichier l'entête (fonctions préparatoires) d'un programme CN. Il est de votre responsabilité de l'adapter à votre directeur de commande (CNC)

// Iso generation code from
// V1.00 engrandco program
// author : Yves Cordier
// 06/2026
G90 G17
G40

isofooting.iso

Note :

- Ce fichier contient les lignes de clôture (fonctions post opératoires) d'un programme CN. Il est de votre responsabilité de l'adapter à votre matériel et directeur CNC.

M02

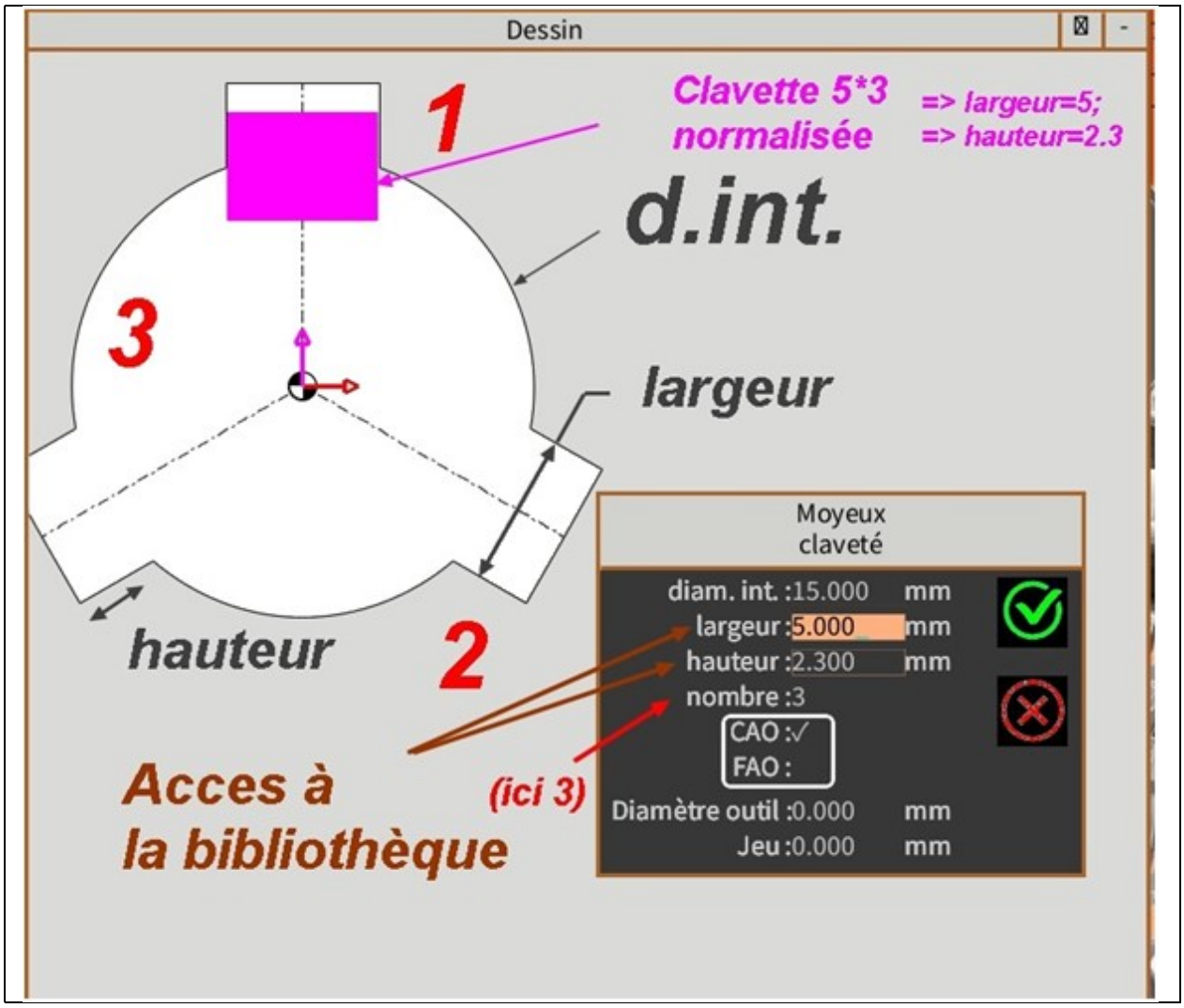
Les boites de dialogue :

Les différentes boites de dialogues répondent aux commandes classiques de déplacement validation modification des divers champs.
On notera cependant que :

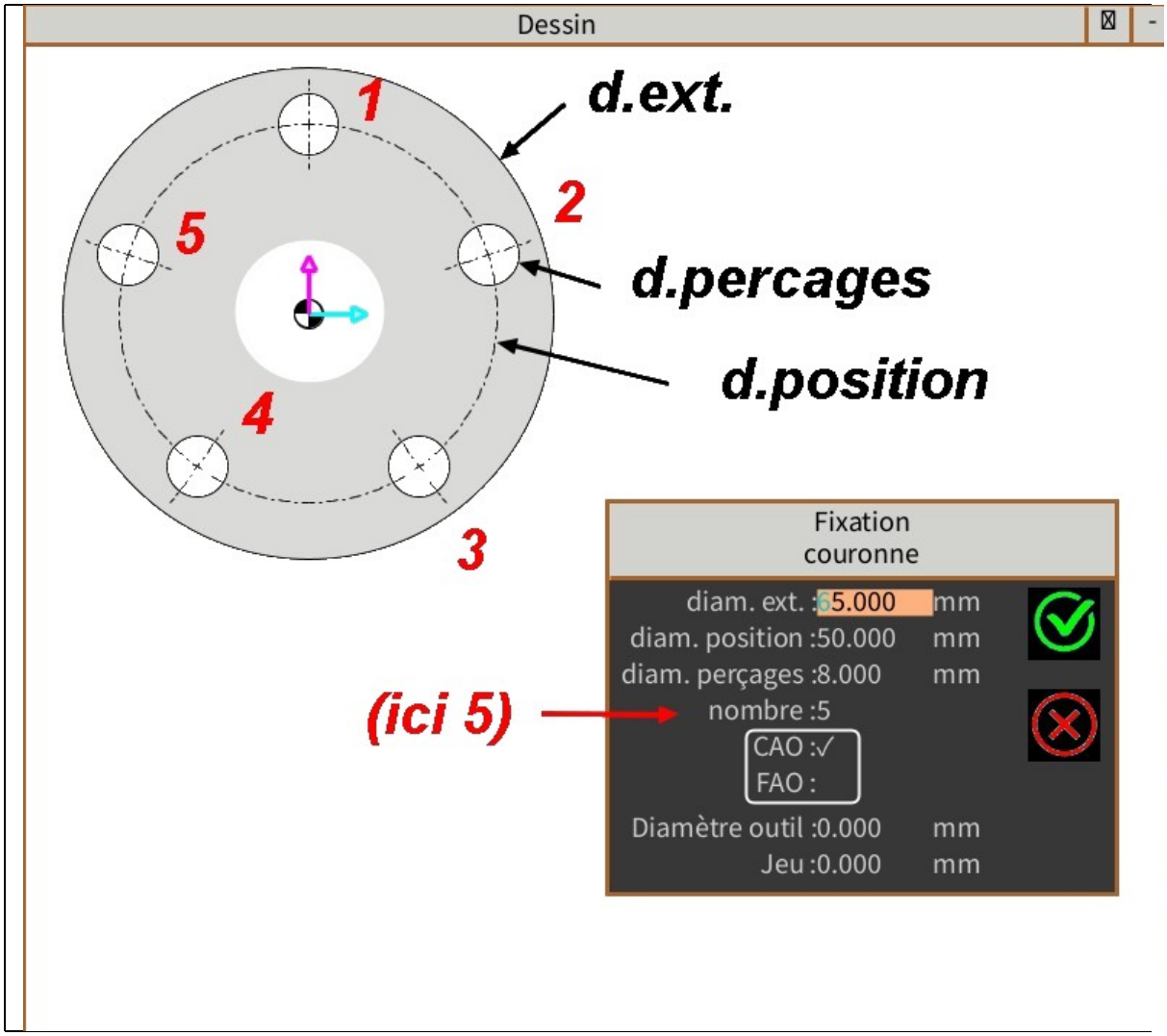
- Pour des champ possédant des bibliothèques, la touche <F1> ou le « double click » ou le « click droit » sur le champ permet de dérouler les valeurs de bibliothèque.
- Si une liste déroulante est ouverte, le « double click », <Ctrl><Enter> ou « click droit » permet de valider la valeur pointée.
- La navigation dans ces listes déroulantes se fait par la roulette de la souris, les flèches haut et bas et <Ctrl><haut> et <Ctrl><bas> pour un déplacement par pas important.
- La validation globale de la boite se fait par l'icône validation ou <Ctrl><Enter> (lorsqu'aucune liste déroulante de choix n'est ouverte).
- L'invalidation des valeurs modifiées se fait par l'icône annulation ou <Esc>
- Le diamètre outil correspond au diamètre du trait de découpe (double du décalage du profil dans le bon sens)
- Le jeu correspond au jeu global entre pignon et roue pour les engrenages standards

    - double du décalage du profil généré (dans le sens inverse de celui généré par un diamètre outil !) pour les engrenages standards.
    - Seuls sont impactés par ce décalage les profils ‘travaillants’. Les profils de raccordements (tête et pied de dents ne sont pas modifiés par ce paramètre)
    - Ce jeu est calculé au primitif de fonctionnement.
- Le jeu correspond au double du décalage des profils ‘travaillant’ à base d’arc de cercle et de segments dans la génération des autres profils..
- Le mode CAO génère les profils sans tenir compte du jeu et du diamètre de l’outil (profil nominal). Ce mode ajoute les traits d’axe nécessaires à la bonne visualisation dans une CAO.
- On notera que l’export en mode Commande Numérique d’un profil généré en mode CAO n’exporte que les traits pleins c'est-à-dire le profil nominal.
- Le mode FAO génère un profil de déplacement centre outil en prenant en compte les correcteurs de diamètre outil et les jeux. Une trajectoire d’entrée et une trajectoire de sortie de profil sont automatiquement générées en début et fin de code iso correspondant.

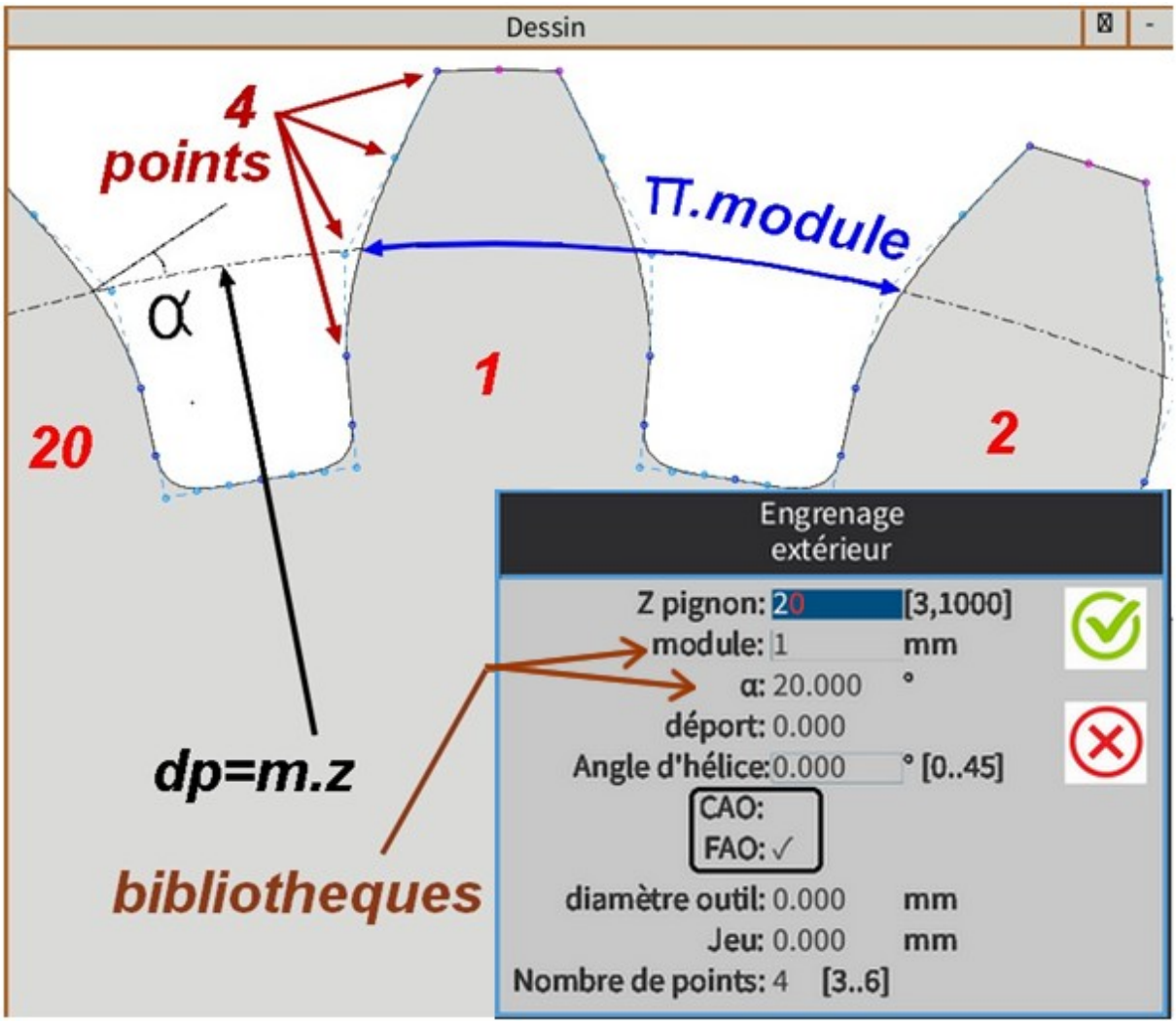
Génération de moyeu :



Génération de flasque de fixation :



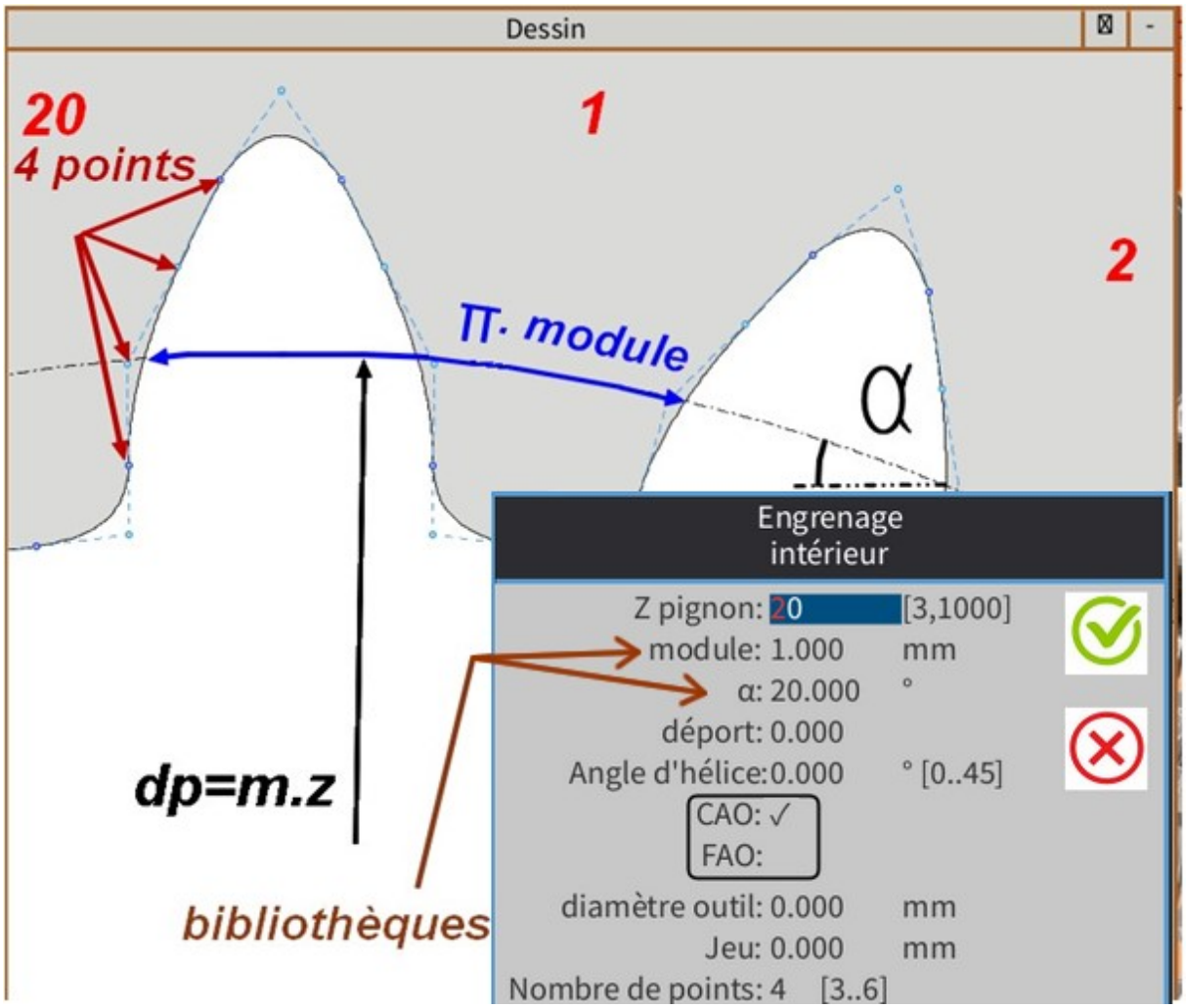
Génération deroues/pignon à denture en développante de cercle :



Attention Attention !

Dans le cas de génération d'engrenages droits, le paramètre 'Angle d'hélice' doit être à 0 ! Si vous voulez générer le profil transversal (en mode CAO) d'un engrenage hélicoïdal en vue d'une impression 3D, vous pouvez jouer avec ce paramètre pour définir votre profil à intégrer dans votre CAO 3D préférée. (C.F. le chapitre correspondant P38).

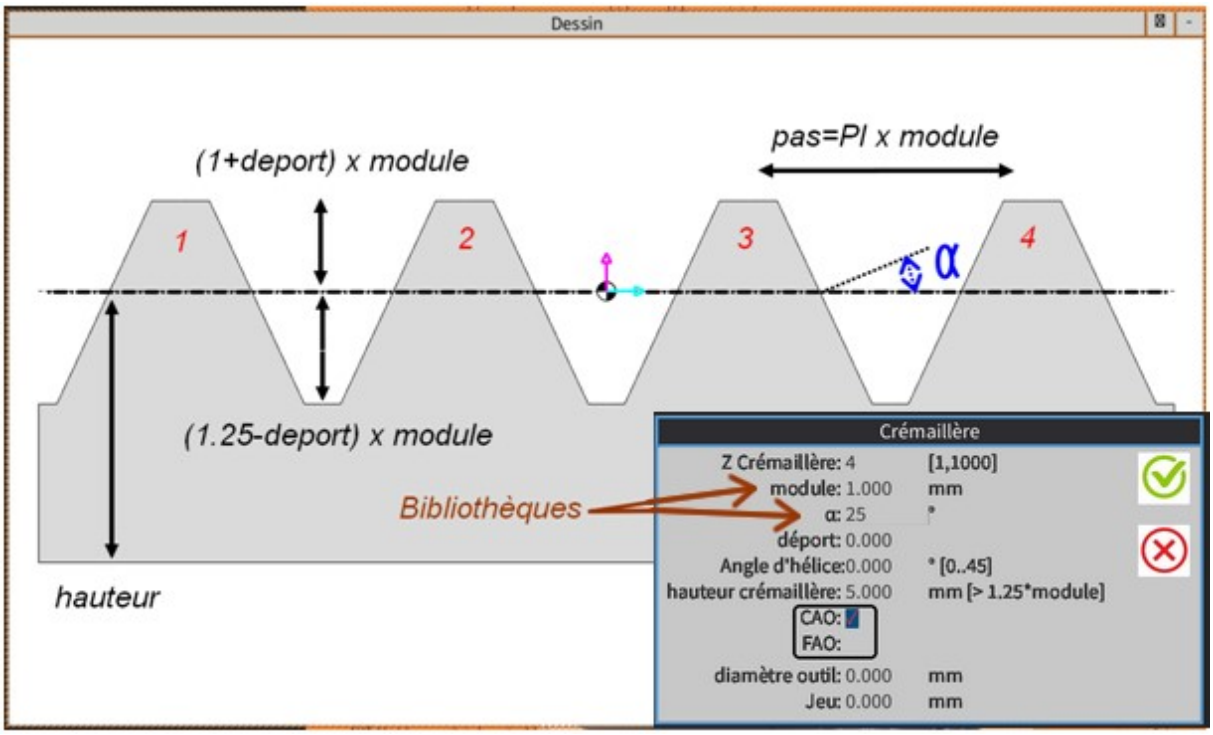
Génération de couronnes à denture en développante de cercle :



Attention Attention !

Dans le cas de génération d'engrenages droits, le paramètre 'Angle d'hélice' doit être à 0 ! Si vous voulez générer le profil transversal (en mode CAO) d'un engrenage hélicoïdal en vue d'une impression 3D, vous pouvez jouer avec ce paramètre pour définir votre profil à intégrer dans votre CAO 3D préférée. (C.F. le chapitre correspondant P38).

Génération de crémaillère :

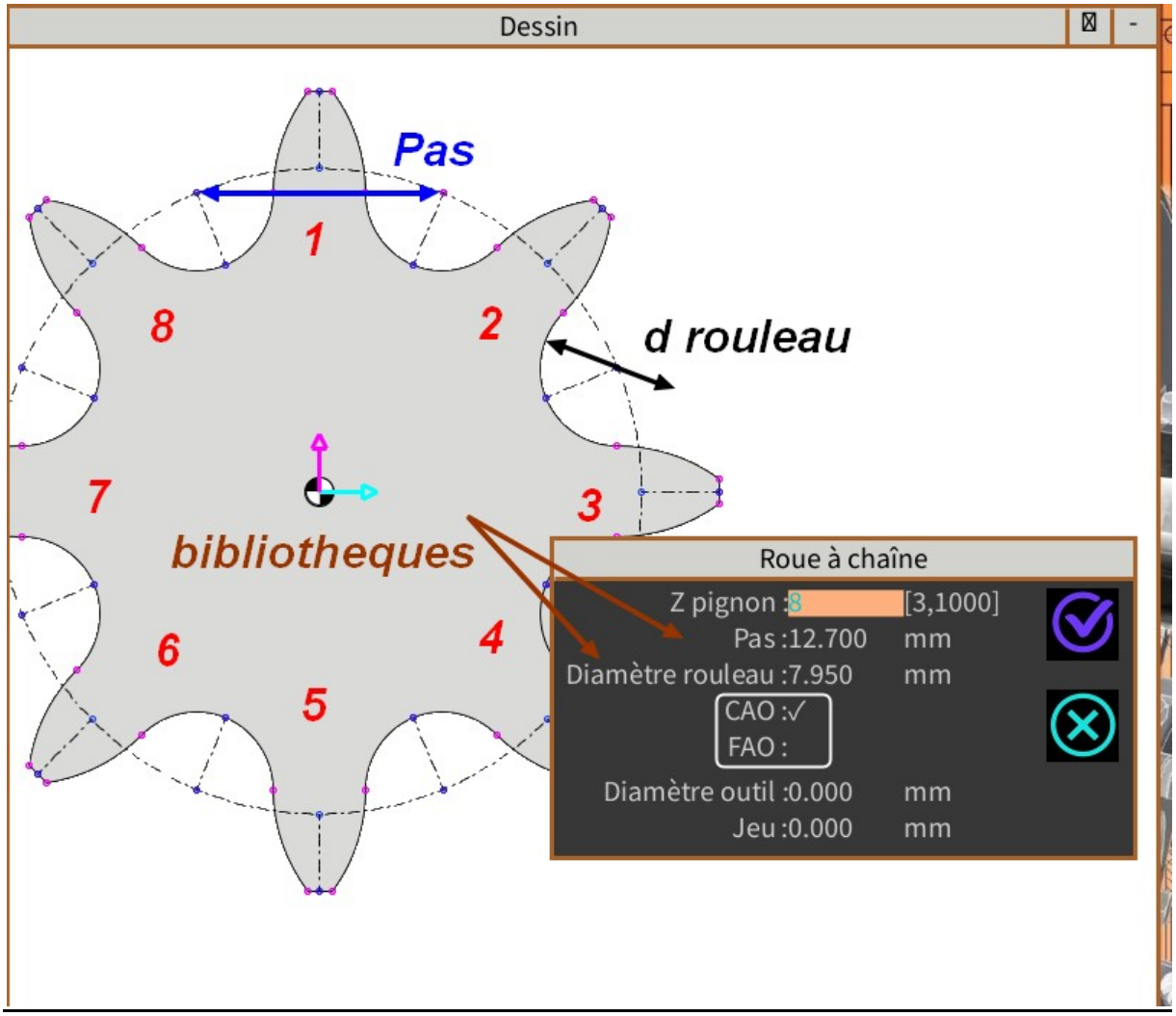


On notera que '*Engrenix*' n'autorise pas la hauteur de crémaillère (même si déclarée faible) à être déclarée inférieure à (1.25-deport)*module.

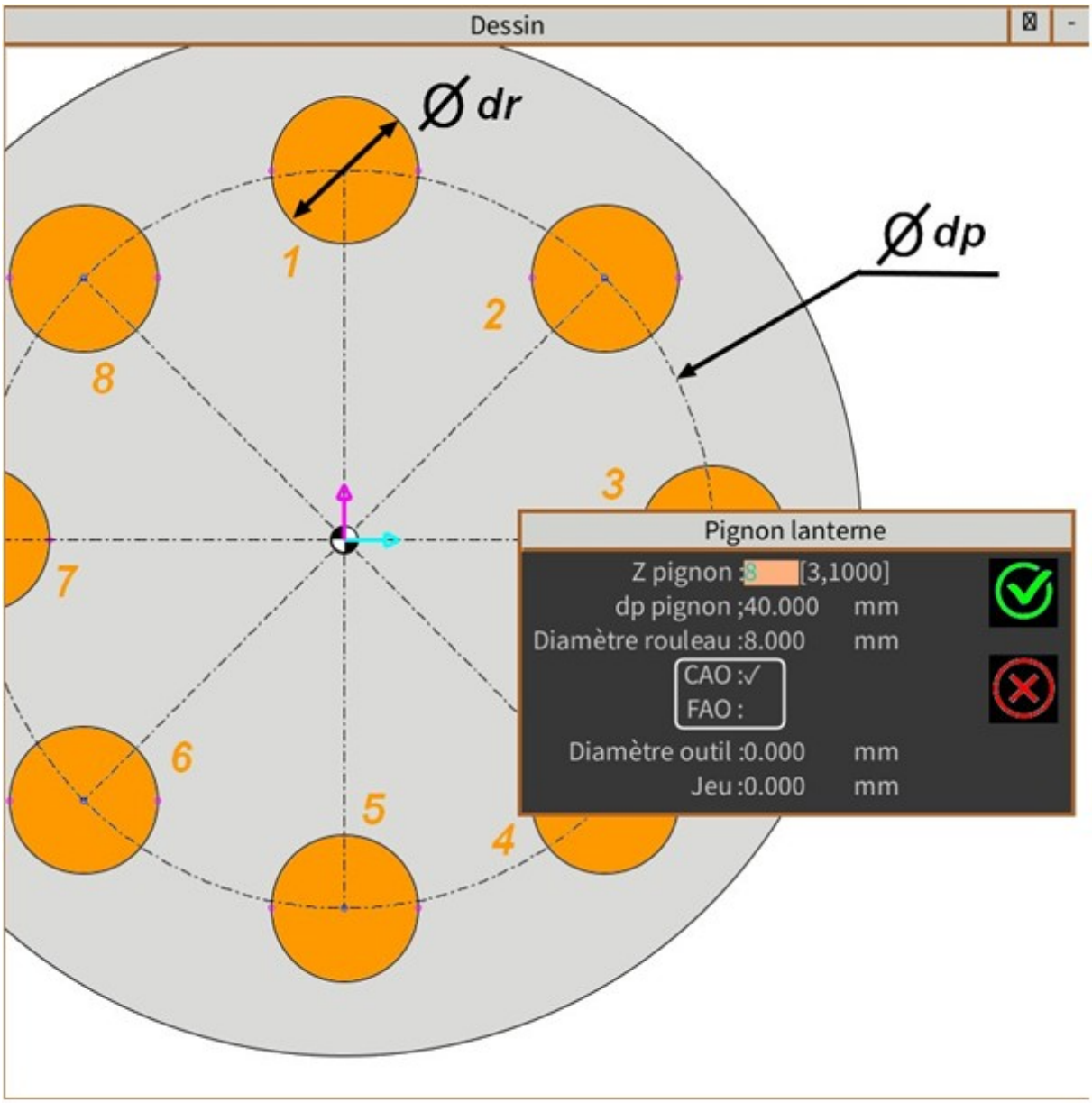
Attention Attention !

Dans le cas de génération d'engrenages droits, le paramètre 'Angle d'hélice' doit être à 0 ! Si vous voulez générer le profil transversal (en mode CAO) d'une crémaillère 'hélicoïdale' en vue d'une impression 3D, vous pouvez jouer avec ce paramètre pour définir votre profil à intégrer dans votre CAO 3D préférée. (C.F. le chapitre correspondant P38).

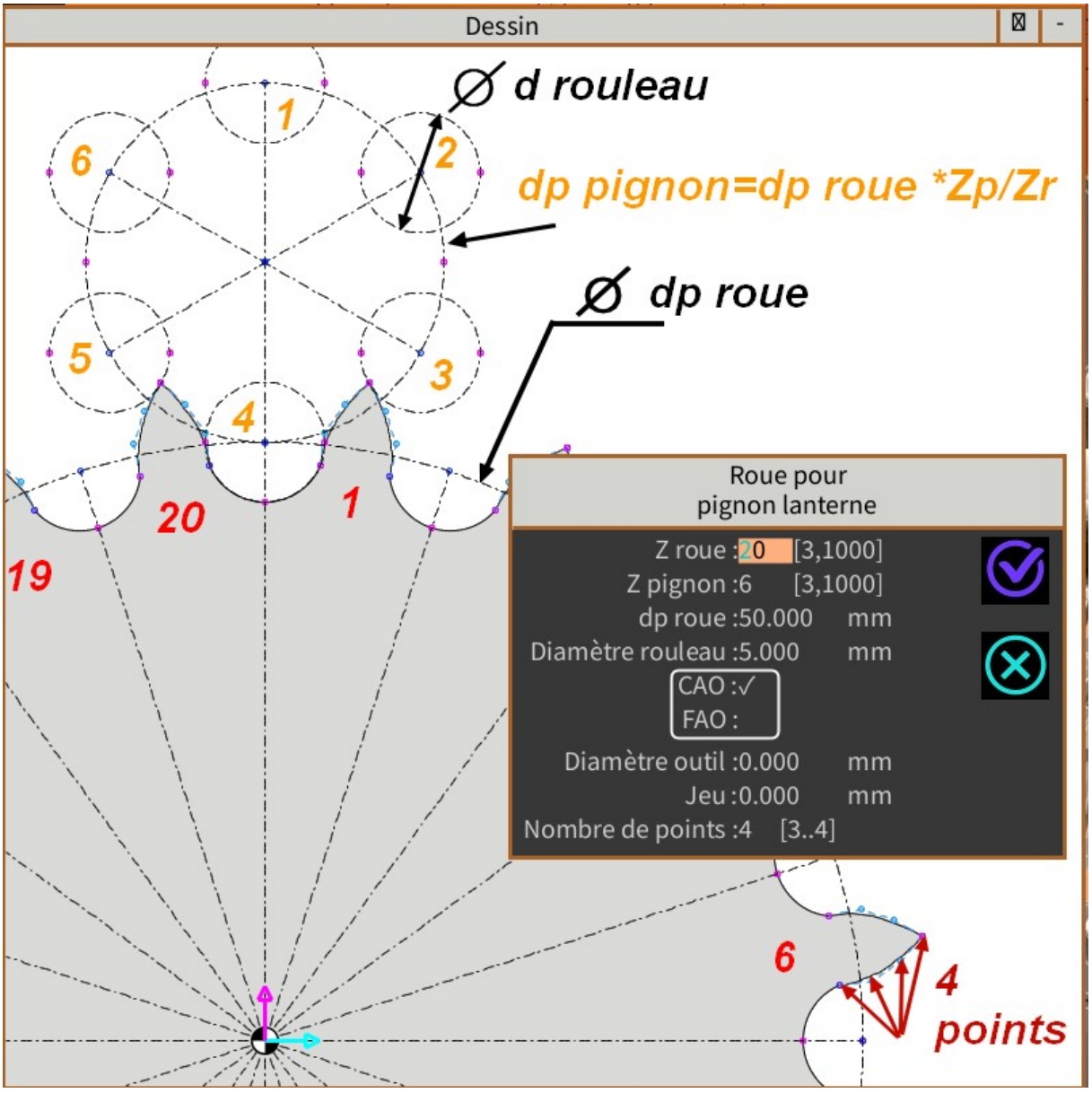
Génération de pignons à chaine :



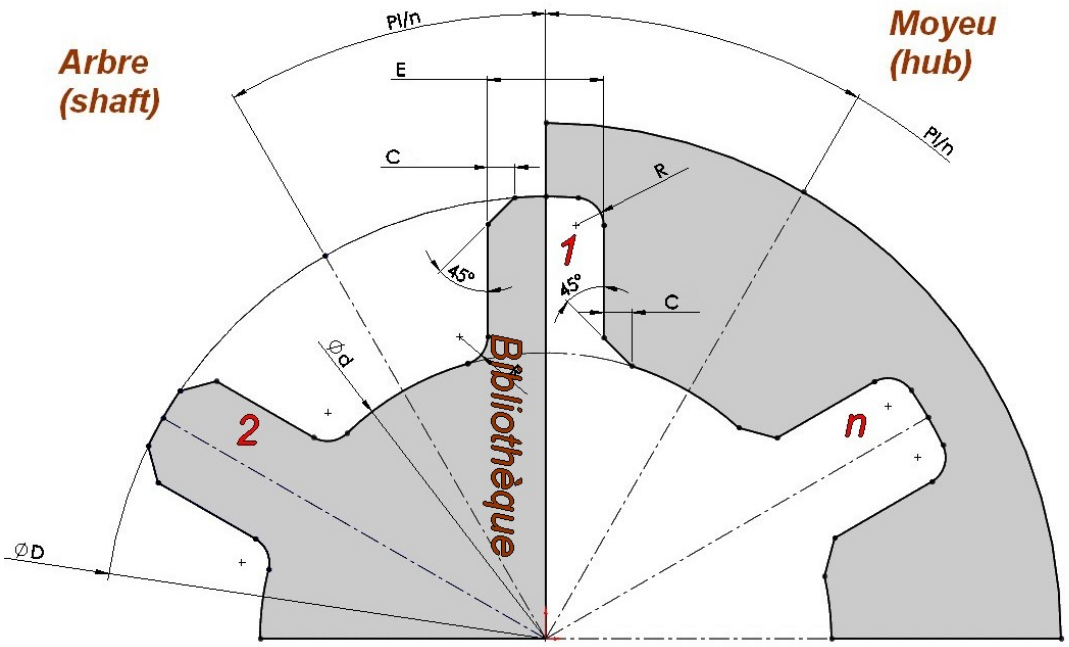
Génération de pignons cage (lanterne) :

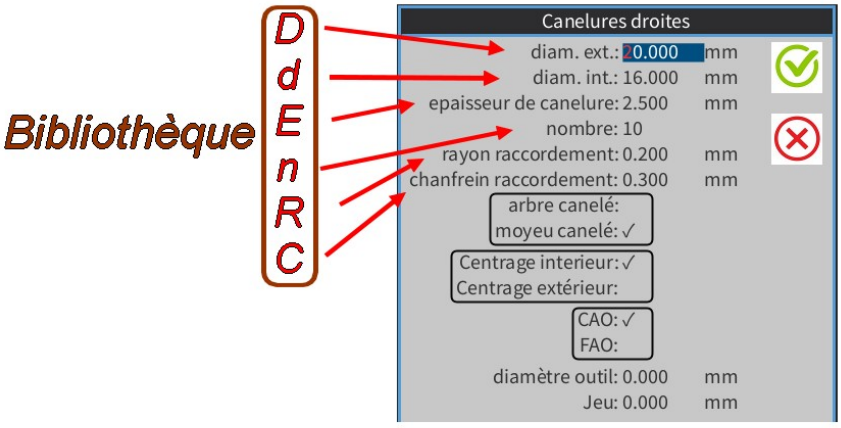


Génération de roues pour pignons cage (lanterne) :

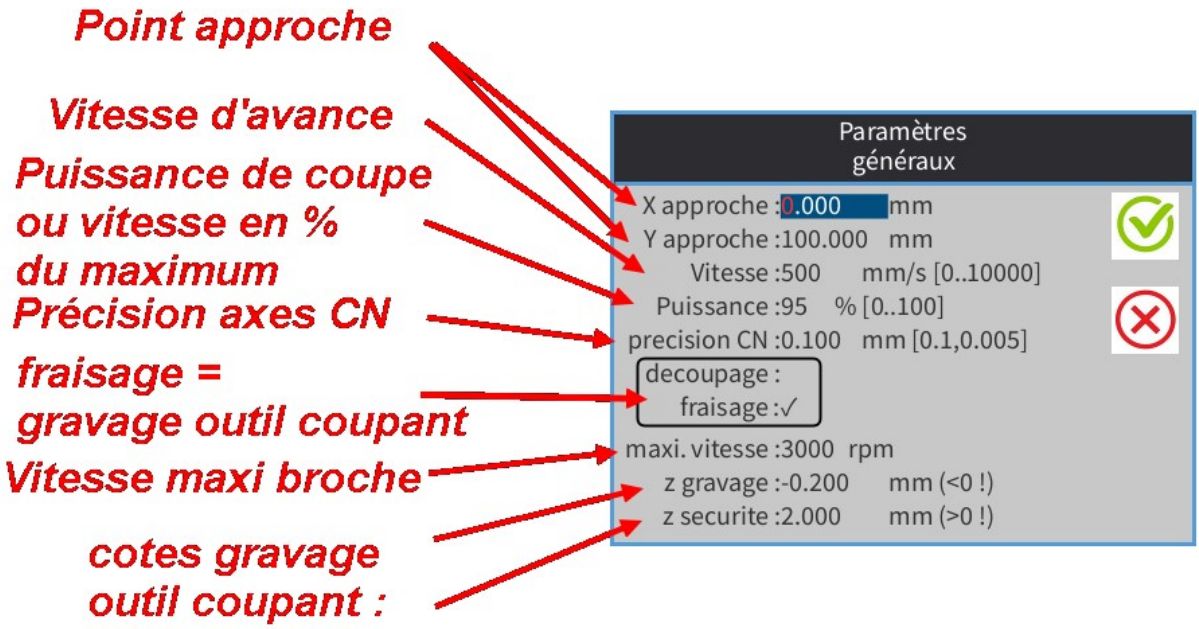


Génération de cannelures droites :





Edition des paramètres d'usinage :



Note :

- La génération des courbes de Bézier donne lieu à une discrétisation de la courbe par des segments de droites. L'erreur cordale faite en prenant un segment au lieu de la courbe est estimée par l'interpolation locale de la courbe par une parabole passant par 3 points.
- La discrétisation de la courbe initiale est calculée de manière à ce que l'erreur cordale soit inférieure au pas de déplacement minimum de la machine.
- Une précision exagérée fournira donc une discrétisation plus importante et donc un fichier CNC bien plus lourd.
- De ma même manière, il est illusoire de donner des cotes au 1/1000éme dans un fichier de trajectoire pour une machine qui ne respecte que le 1/10ème. La précision des positions données dans le fichier 'cnc' (le nombre de chiffre après la virgule) est donc déterminé automatiquement par le paramètre précision.

En résumé : Dans un souci de légèreté des fichiers produits et pour ne pas faire « patiner » le directeur de commande numérique sur des segments infiniment petits, il est bon de rester réaliste et de ne pas surestimer sa machine de découpe.

- Les champs maxi vitesse, z gravage et z sécurité ne sont utilisés que dans le processus de gravage à l'outil coupant tournant (fraisage) à l'instar de ce que l'on

peut faire sur un module charly-robot. Dans ce cas, la vitesse (S) programmée est de %vitesse maxi*maxi_vitesse.

Géométrie des pignons à chaine :

Ce type de denture est en fait mathématiquement la plus simple.

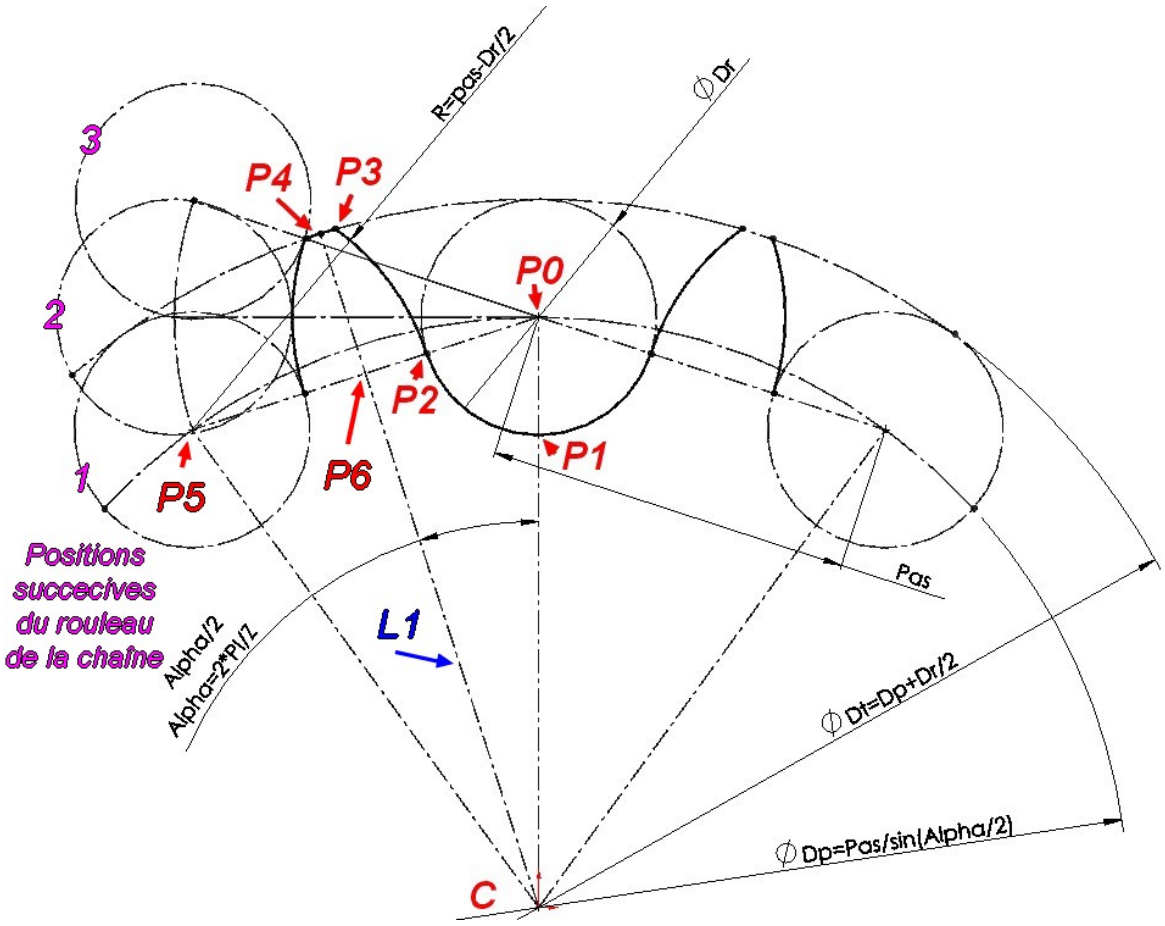
Elle est déterminée par :

1. le pas de la chaîne qui s'enroule sur la roue (pas),
2. le nombre de dents de la roue (Z)
3. le diamètre du rouleau de chaîne (Dr) qui épouse le fond de denture.

Soit les équations de base :

$$données : Z : nombre\ de\ dents, Pas\ de\ la\ chaîne, Dr\ diamètre\ du\ rouleau$$
$$Alpha = 2.\pi / Z$$
$$Dp = Pas / \sin(Alpha / 2)$$
$$Dt = Dp + Dr / 2 : pour\ avoir\ une\ dent\ qui\ "englobe"\ la\ chaîne$$

Mais un bon dessin vaut mieux qu'un long discours :



La chaîne se déroule maillon par maillon sur un diamètre allant du diamètre dit « primitif »(P0) (dont le nom est choisi par analogie avec les engrenages classiques) à P6

correspondant au diamètre $D_p \cos(alpha/2)$. On remarquera que La transmission n'est au sens strict pas « homocinétique ». La dent est symétrique par rapport à l'axe vertical et à l'axe L1.

Une demie dent est constituée de :

- (1) Un arc de cercle de centre P0 allant de P1 à P2 de diamètre le diamètre du rouleau de chaîne (sens de rotation anti-trigonométrique).
- (2) Un arc de cercle de centre P5 allant de P2 à P3 (sens de rotation trigonométrique)
- (3) Un arc de cercle de centre C allant de P3 à P4 (sens de rotation trigonométrique)

Dans certaines configurations, la dent devient *'pointue*' et le point extrémité du profil (2) s'arrête sur un rayon inférieur au rayon de tête calculé sur l'axe de symétrie de denture L1.

Comme l'équation donnant le points P3 sont loin d'être linéaires, une recherche dichotomique est effectuée pour déterminer ce point et éventuellement une élimination du profil circulaire de tête en cas de dent *'pointue'*.

Le profil complet est ensuite généré par symétrie et rotation du profil de base.

En mode CAO, le profil est modifié à la génération pour prendre en compte le jeu demandé ainsi que le diamètre de l'outil de taille (diamètre de fraise ou de trait de découpe).

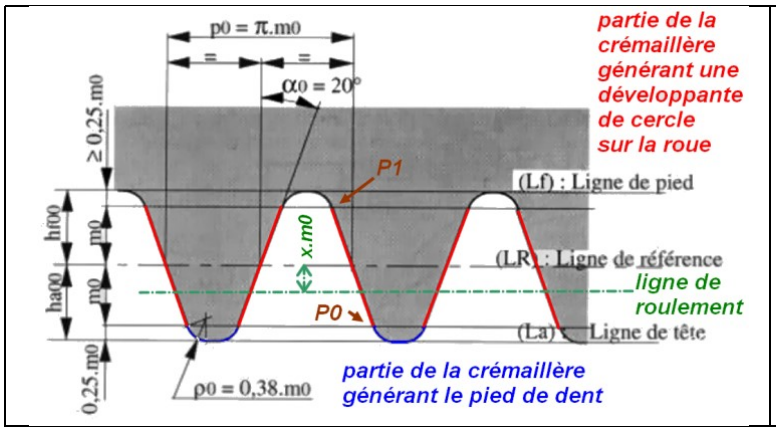
Il suffit (facile à dire une fois que cela est fait !!) à la génération du profil de modifier le diamètre du rouleau par la formule : $D_{reffectif} = D_r - D_{outil} + jeux/2$ et de déduire les autres profils de cette modification.

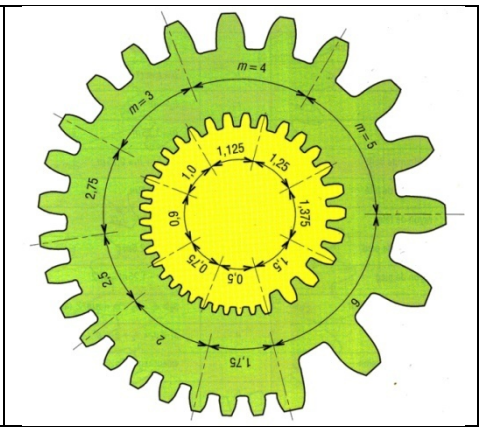
Géométrie des dentures extérieures en développante de cercle

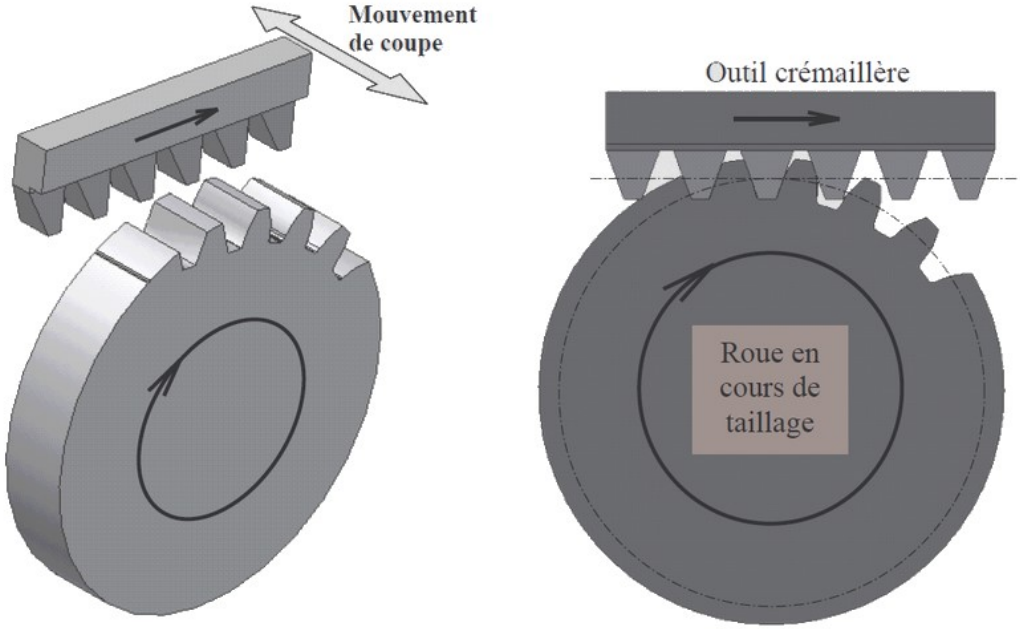
Comme précédemment, nous effectuerons la définition géométrique d'une demi-dent que nous complèterons par duplication symétrie et duplication rotation multiples.

Pour bien comprendre la méthode de génération de la demi-dent, et les paramètres institutionnels, nous devons avant tout comprendre la méthode traditionnelle de taille avec une crémaillère normalisée.

La géométrie des dents résulte du profil généré par une opération de roulement sans glissement d'une crémaillère « normalisée » sur le diamètre primitif du pignon. La dent est en fait le résultat de l'enveloppe de toutes les trajectoires de l'outil de taille.







Le paramètre de base de la crémaillère est son module m (toutes les cotes sont homothétiques à cette valeur numérique). Mais, lorsque l'on a défini le module comme valeur de base d'un engrenage, les calculatrices électroniques n'étaient pas nées, et, les mécaniciens pour se comprendre préféraient utiliser des nombres simples issus des entiers naturels et des quotients simples pour discuter. Or le célèbre nombre $\pi = 3.1415926...$ (que j'aime à faire apprendre un nombre utile aux sages Oh Archimède illustre ingénieur .. --mais je m'égare--) s'en mêle (c'est toujours le cas lorsque l'on s'occupe comme Mr Archimède de formes dites « parfaites » comme les arcs de cercles). Le célèbre m se déduit du pas (vous savez la 'prise de tête' des écoliers d'antan : l'intervalle entre les poteaux d'une clôture) $pas = \pi.m$ et donc le périmètre du cercle de roulement

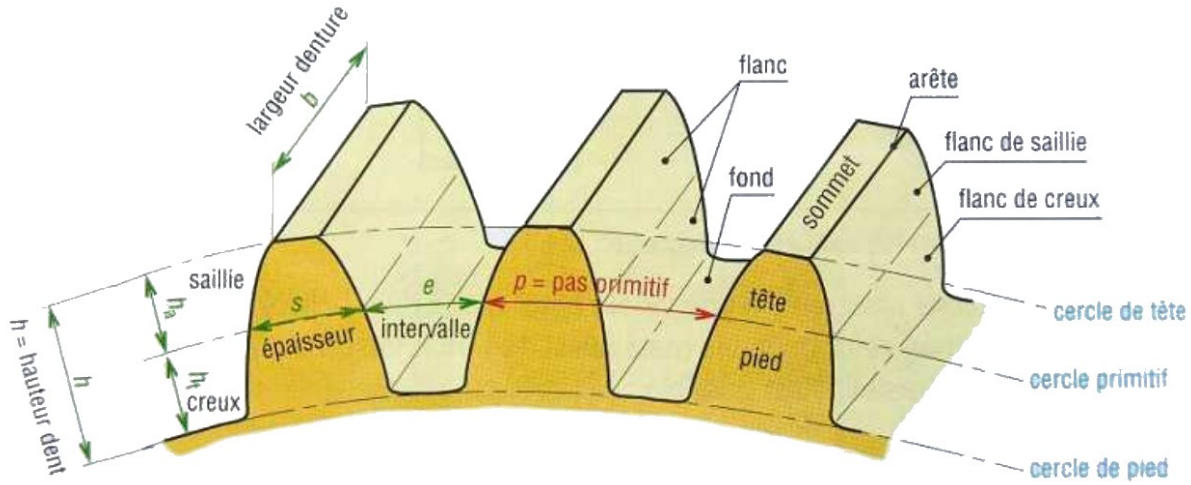
(au niveau de la clôture) vaut de manière très simple $perimètre = \pi.Dp = pas * Z = \pi.m.Z$ .Une simplification de la deuxième égalité donne l'expression connue de tous les mécaniciens en herbe $Dp = m.Z$.

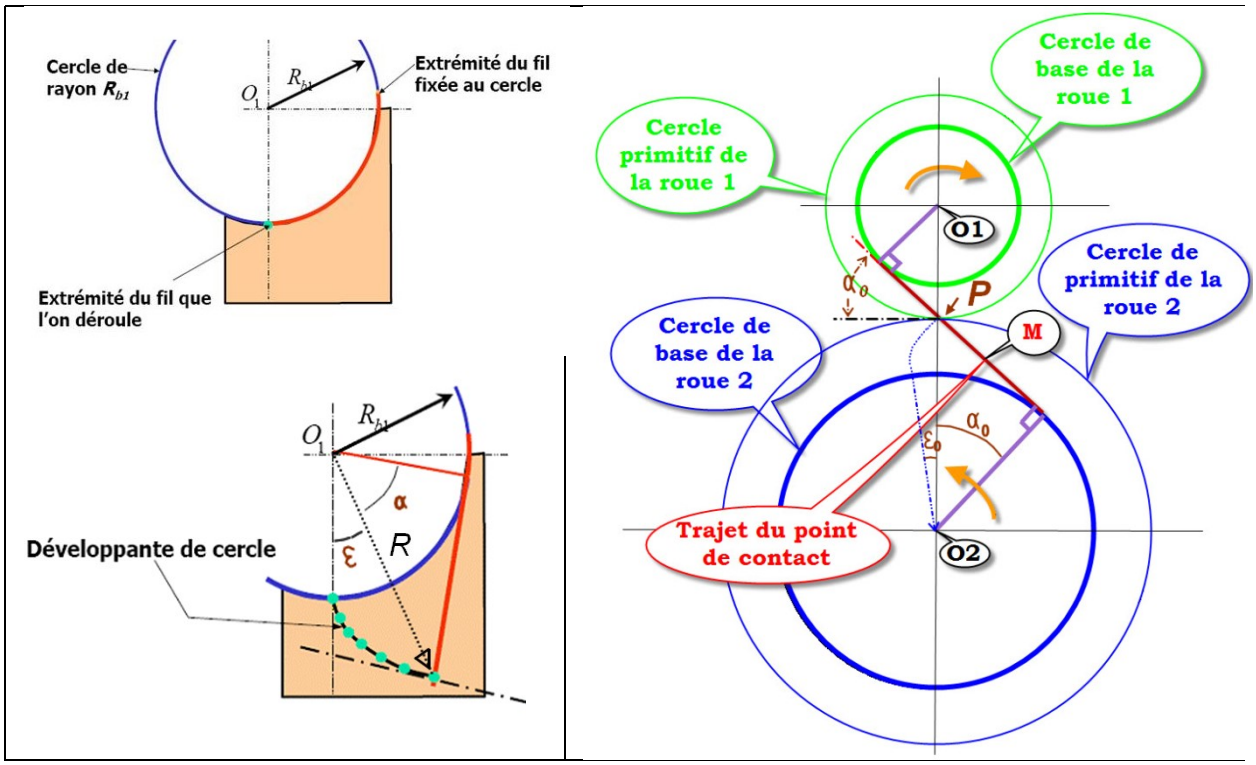
Cette méthode de génération est celle employée dans la bibliothèque SolidWorks «altitech » créé par Mr Pierre Granouillet (http://p.granouillet.free.fr).

Ici, nous allons nous faire fi de la génération par enveloppe de profils et allons générer le profil par un travail de génération par primitives géométriques.

Les caractéristiques *idéales* que nous allons retenir (à l'aide des valeurs définissant l'engrenage $\{\alpha_0, m, Z, x\}$ avec α_0 l'angle de contact au point primitif de contact) sont :

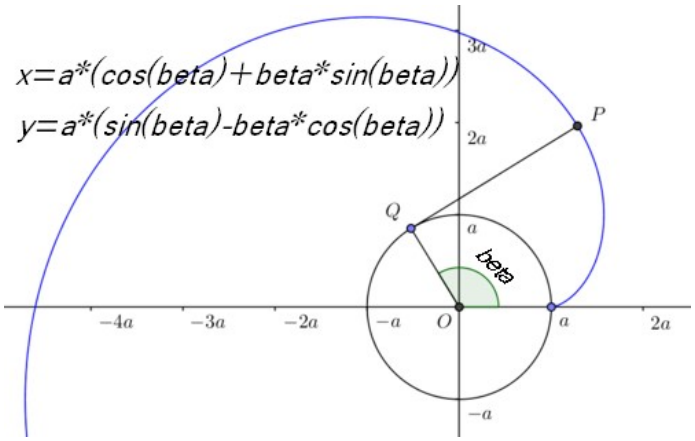
- Une dent possède une partie active totale de 'hauteur' $h = 2\,m$
- Une dent possède une partie active de dépassée $ha = (1+x)\,m$ au dessus du rayon primitif
- La partie « basse » de la dent comprenant une partie de «la partie active») plus le raccordement de pied de dent correspond à $hf = (1.25 - x)\,m$
- La forme active (normalement générée par l'enveloppe des coupes successives de l'arrête $P_0 - P_1$) est une développante de cercle.
- L'angle de contact α_0 est défini par l'angle de contact au point correspondant au contact des deux rayons primitifs roue et pignon (P).





Avec la célèbre fonction involute définie par $\varepsilon = tg(\alpha) - \alpha = inv(\alpha)$ et donc pour le point P $\varepsilon_0 = tg(\alpha_0) - \alpha_0 = inv(\alpha_0)$. Nous avons aussi

$$\begin{cases} R = \sqrt{R_b^2 + (R_b\beta)^2} \ avec \ \beta = \alpha + \varepsilon \\ R = R_b\sqrt{1+\beta^2} \\ \beta = \sqrt{\dfrac{R^2}{R_b^2} - 1} \ ; \varepsilon = \sqrt{\dfrac{R^2}{R_b^2} - 1} - \alpha \end{cases}$$



Remarques importantes :

- La saillie en développante de cercle ne pose pas de problèmes majeurs, si ce n'est d'obtenir des dents 'pointues' obtenu par la suppression du sommet engendré par la collision du flan de saillie droit avec le flanc de saillie gauche (il ne s'agit pas ici de tectonique des plaques …). En pratique ce cas n'arrive qu'avec des déports (x) très importants et un

nombre de dents très-très réduit. Ce problème se détecte de visu à la génération.

- En ce qui concerne le flanc de creux, la courbe ne peut être définie pour un rayon inférieure au rayon de base 

. Ce dernier problème qui va nous occuper quelques temps.
- Dans le cas 'normal' de tous les livres décrivant simplement une dent, ce problème est occulté (et on parle de profil de raccordement qui est une trochoïde pour faire scientifique …). C'est en partie vrai, la partie circulaire de la tête de crémaillère de taille (de rayon 0.38*m) génère par enveloppe un morceau de trochoïde. Lors du mouvement relatif dent-crémaillère. Lors du taillage la dent une fois usinée, peut se faire retailler au niveau du pied de dent par une autre dent de crémaillère dans son mouvement de rouler sans glisser. Il s'agit là de l'interférence secondaire de taille. Dans le fonctionnement normal de deux roues dentés (de rayon non infini), ce phénomène à relativement peu de chance de se produire (les dents de la roue 'dégagent' plus vite que celle de la crémaillère fictive de taillage. Nous ne traiterons donc pas ce phénomène dans la génération de notre denture.
- La trochoïde déjà citée n'étant qu'une forme de dégagement sur laquelle normalement aucune partie de dent de la roue ne viens toucher, nous pouvons la remplacer en une autre courbe régulière issue d'un monde mathématique moins « barbare » qui donne un pied de dent « agréable à l'œil » sans 'à-coup'. Apres divers essais, Engrenix (pêre) à décidé d'utiliser une courbe de Bezier de degré 4 (5 pôles de contrôle — handle--) qui après essais donne un rayon de raccordement de 0.25 à 0.3 modules et qui satisfait aux conditions de raccordement des autres courbes de la dent.

  Voici de manière textuelle l'algorithme mis en œuvre pour générer une roue dentée sans prendre en compte le décalage d'outil ni le jeu de denture.

Données Z,m,alpha,x,n
Détermination de
*Rb=Rp*cos(alpha) rayon de base*
*Rf=Rp-(1.25-x)*m rayon de pied*

*Rp=m*Z rayon primitif*
*Rm=Rp+x*module rayon ou creux=plein dans une dent*
*Ra=Rp+(1+x)*module rayon de tête*
Re rayon d'extremité de profil actif
*si Rb<=Rp-(1-x)*module*
*alors Re=Rp-(1-x)*module*
sinon Re=Rb

Determination de
Beta_e : Beta correspondant à l'extremité active
Beta_m : Beta correspondanr au rayon ou creux=plein
Epsilon_m : la valeur de epsilon correspondante
Beta_a : Beta correspondant à la tête de la dent
*sachant que R=Rb*racine(1-Beta^2) => Beta=racine((R/Rb)^2-1)*

dBeta=(Beta_a-Beta_e)/(n-1) utile pour calculer les n points de la developpante espacés de dBeta

Calcul des n points de la développante dans le repère initial
sachant que x=Rb(cos(Beta)+Beta*sin(Beta)); y=Rb*(sin(Beta)-Beta*sos(Beta))*
Interpolation des n points par une courbe de Bezier

Rotation des n points (en sens anti Trigo) pour ramener le profil symétrique par rapport à l'axe x
*angle rotation=-EpsilonM-2*PI/Z/4*

*Segment radial du premier point profil à Rf+0.25*module*
Raccordement par courbe de Bezier au pied de dent (4 points)
arc de cercle de tête du dernier point de la developpante au point(Ra,0)

Duplication symétrie / ox des entités
Duplication rotation Z-1 fois par rapport au centre

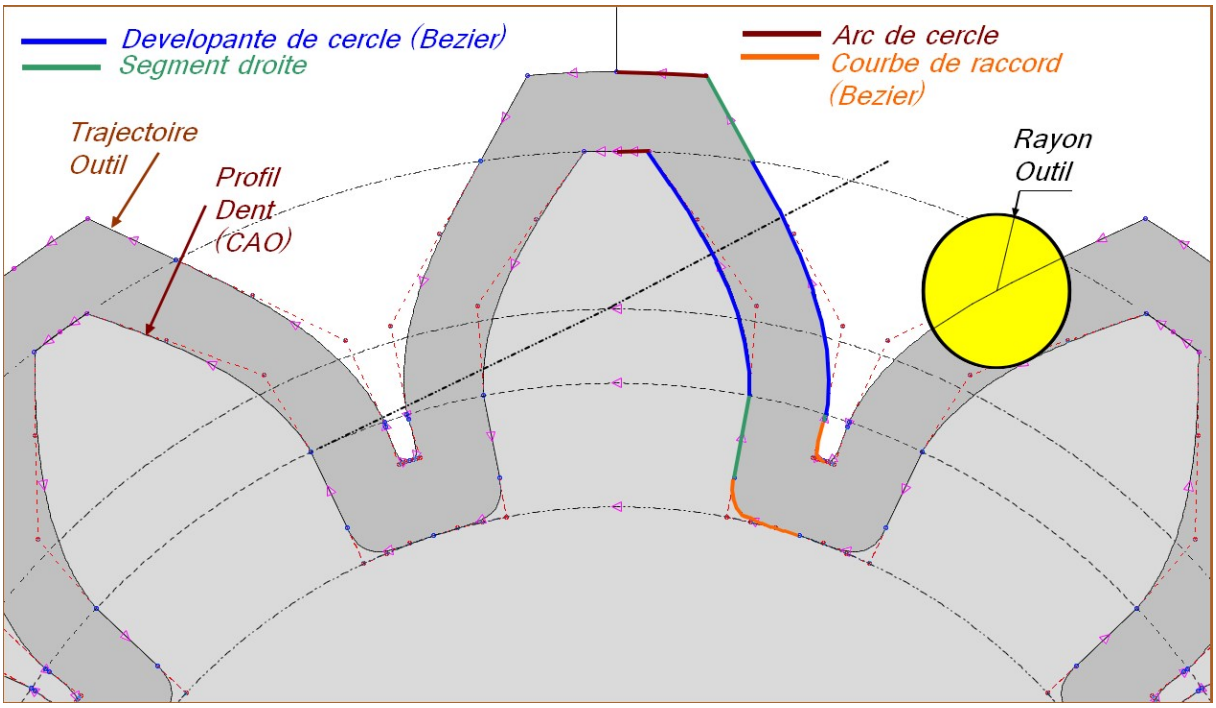
La prise en compte du jeu et du rayon outil d'usinage complique la génération exposée ci-dessus.
On retiendra que :

- Le jeu calculé au primitif de fonctionnement est appliqué en tournant le profil en développante de $d\theta_1 = -\frac{jeu \cdot \cos(alpha_0)}{2 \cdot R_p}$ ..
- Une développante de cercle 'tournée' reste parallèle à la développante d'origine en tous points. Cette propriété mathématique

nous permet de traiter le problème du rayon d'outil en décalant le profil précédent par une rotation de $d\theta_2 = \frac{rOutil}{R_b} = \frac{rOutil}{R_p \cos(alpha_0)}$

- Les autres parties du profil sont décalées du rayon d'outil et calculées (décalés du rayon d'outil) pour se raccorder à la développante tournée de $d\theta_1 + d\theta_2$. Des profils additionnels sont insérés pour permettre le raccordement (tête de denture).

Ceux qui sont intéressés par la 'salade' générée par ces opération prendrons un aspirine avant de se plonger dans le code source … Pour les autre voici un résumé « graphique » du résultat.

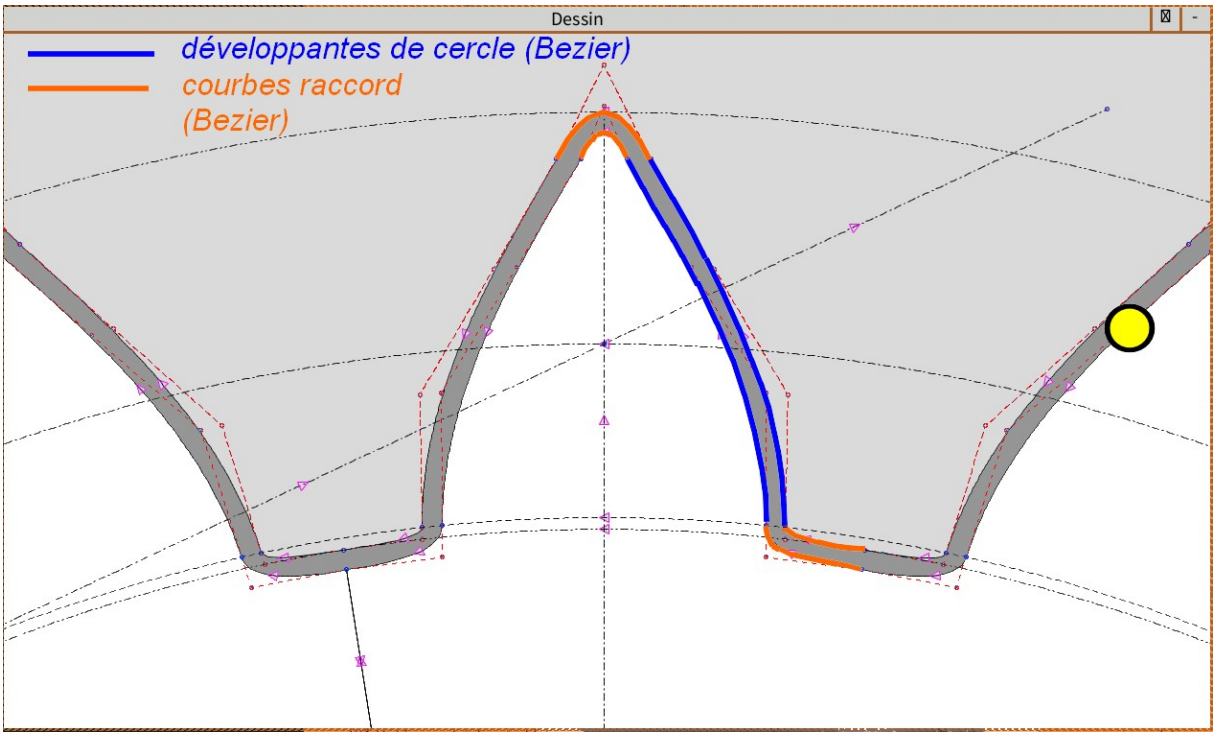


Géométrie des dentures intérieures en développante de cercle

Le processus est similaire à la génération des dentures extérieures à quelques modifications prés :

- La dent est générée par une crémaillère fictive retournée.
- Les cercles de tête et de pieds sont donc « inversés »
- Les courbes de raccordement ont été choisies de degré 2 (suffisant)
- Les décalages dus aux jeux et rayon outils se font en sens inverse.

Nous n'allons pas ici s'épancher dans un long discours et allons en rester à un résumé graphique suffisant pour comprendre le processus.



On remarquera que le rayon d'outil doit ici être nettement plus petit que dans le cas des dentures extérieures. Sauf dans la saga «star wars» avec ses sabres laser au rayon important, le diamètre d'un rayon laser est suffisamment réduit pour convenir à la réalisation de couronnes dentés à petit modules.

Géométrie des roues à pignon cage « lanterne »

On peut penser que « la chose » est simple car historiquement c'est un des premiers profil de denture que l'on a créé en horlogerie. Que nenni ! Les mathématiciens d'antan et ceux d'aujourd'hui s'accordent sur le fait que la courbe des positions du centre du galet (qui représente la courbe sur laquelle s'appui les tracés de la dent de la roue) est une épicycloïde (jusque là tout va bien !). Il suffit donc de tracer la courbe parallèle décalée du rayon du galet pour avoir le profil de la dent (Pour ce faire, enfantin ! il faut définir en tous points le vecteur tangent à la courbe). Muni d'une règle d'un crayon et d'un *pifomètre* affuté cela semble facile. Lorsque l'on traduit cette gymnastique en équation, là, les ennuis commencent : En effet, le point P est un point de

rebroussement de la courbe. Cette dernière bien que continue n'est au sens strict pas dérivable en ce point et donc la tangente n'est pas définie. De plus, au voisinage de ce point, $k = \frac{dl}{d\alpha}$ qui « représente » la vitesse d'avancement le long de la courbe, tend vers 0 ce qui numériquement provoque une indétermination de la tangente autour du point P (P se comporte comme un point d'accumulation mathématique). Cerise sur le gâteau, ce même coefficient k est loin d'être équilibré sur la partie de courbe qui nous intéresse (passe de 0 à une valeur importante). Il faut donc devenir plus rusé que les mathématiques brutes sans pour autant clouer au pilori l'exactitude des résultats.

La solution d'approximation prise est donc la suivante :

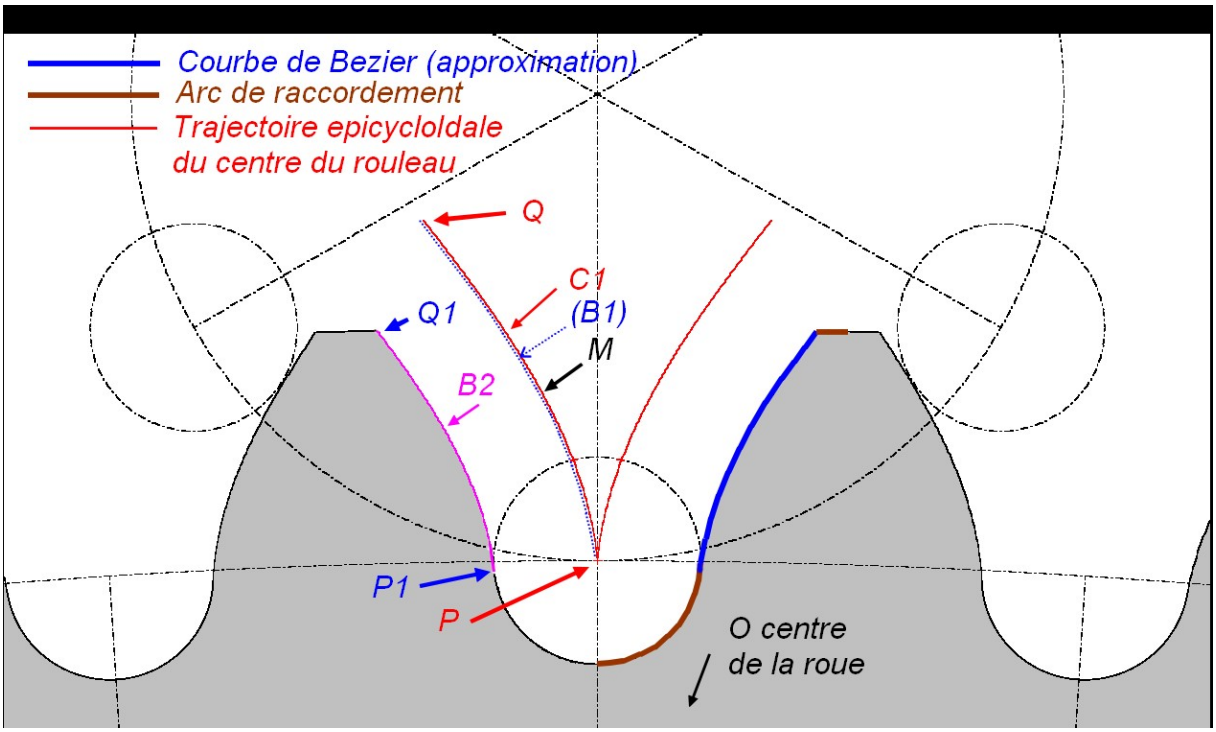
- Détermination approchée de l'extrémité de la courbe Q
- Détermination de n points de l'épicycloïde C1 théorique entre P et Q en faisant attention à ce que le premier point intermédiaire ne soit pas trop près du point fatidique P (En prenant des points équidistants sur le paramètre de génération entre P et Q, et en limitant leur nombre à 4 au maximum les résultats expérimentaux confirment la méthode.)

$$\overrightarrow{OM} = \begin{cases} -(r_1 + r_2)\sin(\alpha) + r_2 \sin\left(\alpha\left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)\right) \\ (r_1 + r_2)\cos(\alpha) - r_2 \cos\left(\alpha\left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right)\right) \end{cases} \text{ avec } \begin{cases} r_1 \text{ rayon primitif de la roue} \\ r_2 \text{ rayon primitif du pignon} \end{cases}$$

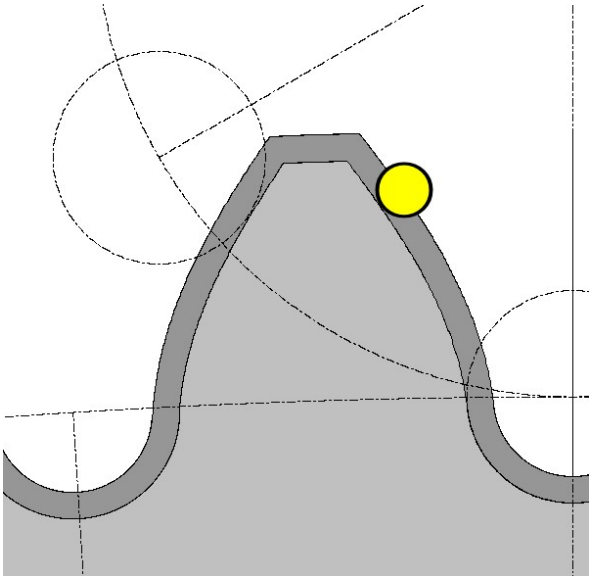
- Approximation de Bézier (courbe B1) passant par ces points

A ce stade, B1 ne possède plus les problèmes de C1 au voisinage de P

- Détermination de B2 par décalage de B1 (désormais possible mathématiquement)
- Détermination du point Q1 sur B2
- Ré-échantillonnage de B2 pour couvrir de P1 à Q1
- Détermination des arcs de raccordement (en traitant le cas des dents 'pointues'



Mais ce n'est pas fini ! :
L'exposé ci-dessus ne prend pas en compte les décalages de trajectoires dues au rayon d'outil et au jeu déclaré. Pour faire simple, nous dirons que ceux-ci sont pris en compte tout au long de ce lent processus d'approximation ré-échantillonnage pour obtenir une trajectoire acceptable, du style de celle présentée ci-contre.



Comment générer des pignons hélicoïdaux

Un amis m'a demandé « et les pignons hélicoïdaux ? peut on les réaliser sur une découpeuse laser ? Après réflexion rapide, la réponse à été négative. Mais, comme vous le savez, une réponse négative amène souvent à une réflexion plus poussée. Je me suis donc dit que la génération de ces pignons était possible sur une imprimante 3D…

Depuis la version 2.2 de ce logiciel, vous avez vu apparaitre dans les boites de dialogue de création des pignons et couronnes en développante de cercle un paramètre d'angle d'hélice du pignon. Ce paramètre permet de générer dans la plan tangent du pignon (qui est confondu avec le plan normal dans le cas ou cet angle est de 0) un profil que nous pourrons utiliser dans un logiciel de CAO pour générer un engrenage hélicoïdal. Ensuite, il suffit de générer un fichier stl (STéréoLithographie) compatible avec un logiciel de pilotage d'imprimante 3D (*Chitubox, cura* …).

Un petit peu de théorie :

Je me suis repenché sur mes bibles d'engrenage et sur le chapitre (que j'avais au départ occulté) des engrenages hélicoïdaux. Après digestion des pages, je me suis rendu compte que la trace du pignon dans le plan perpendiculaire à l'axe de rotation (appelé plan tangentiel Pt) ressemblait à celle du pignon droit initial à quelques détails près.

- Le profil actif était une développante de cercle avec un angle de pression (angle apparent) plus grand que l'angle de la crémaillère de taille.
- Le diamètre primitif est plus grand.
- Les hauteurs de dent sont identiques à celles du pignon droit taillé avec la même crémaillère.

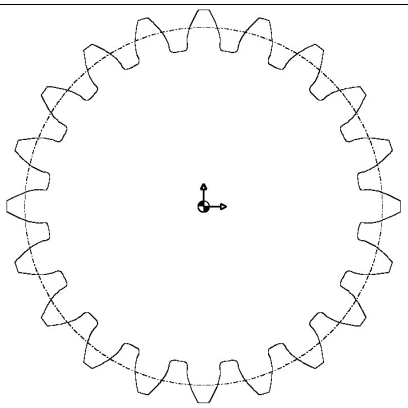
Visuellement, dans le plan Pt, en ce qui concerne les profils actifs, tout se passe presque comme si nous taillions un engrenage avec une crémaillère possédant un angle différent en adaptant le diamètre primitif. Au niveau des profils de raccordement, il est vrai que la « trochoïde » initiale se trouve singulièrement déformée. Comme *Engrenix* Crée des raccordements avec des courbes de *Bezier* ' compatibles', cela ne pose pas de problèmes majeurs.

Mathématiquement, cela revient à corriger le rayon de base de la développante de cercle qui constitue le flanc du pignon ainsi que le rayon primitif correspondant à l'équilibre creux-bosse d'une dent sans déport de denture.

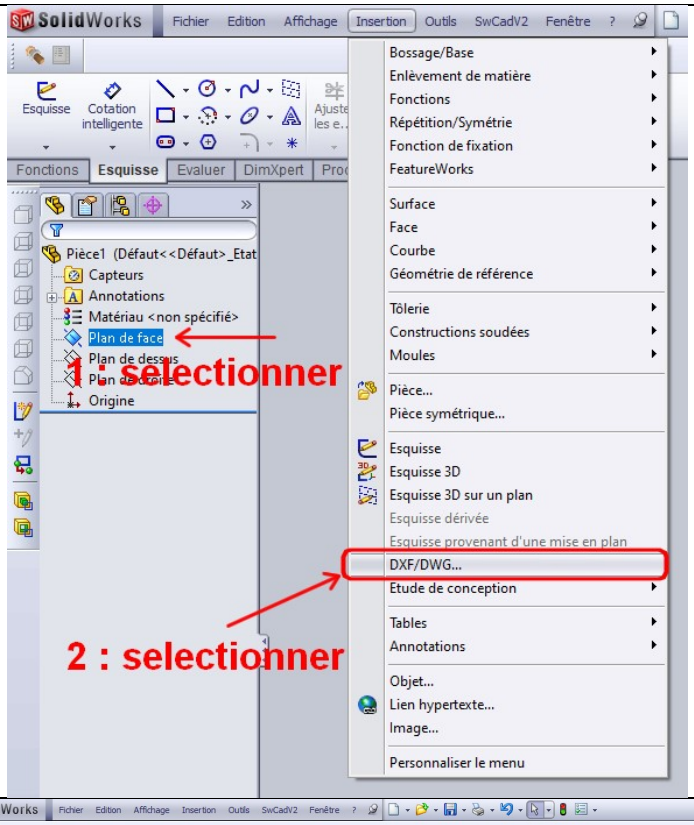
$$\begin{cases} \alpha_t = \arctan\left(\dfrac{\tan(\alpha_0)}{\cos(\beta)}\right) \\ d_{prim} = \dfrac{m \cdot Z}{\cos(\beta)} \\ d_{base} = d_{prim}\cos(\alpha_t) \end{cases}$$

. Les développantes de cercles des profils de dents étant générés à partir de la définition de d_{base}, m et d_{prim}, la génération du profil dans le plan Pt est donc enfantine (enfin presque niveau Mat*ernelle* Supérieur*e* –Math Sup--. Mais ne vous en faites pas, contentez vous d'utiliser !!) !

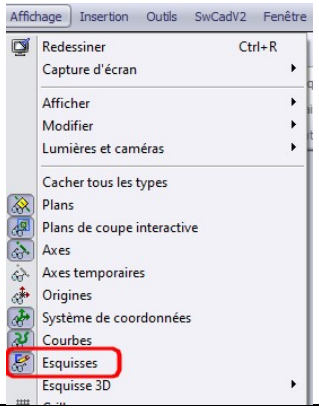
Comment générer un tel pignon sur un logiciel de CAO ?

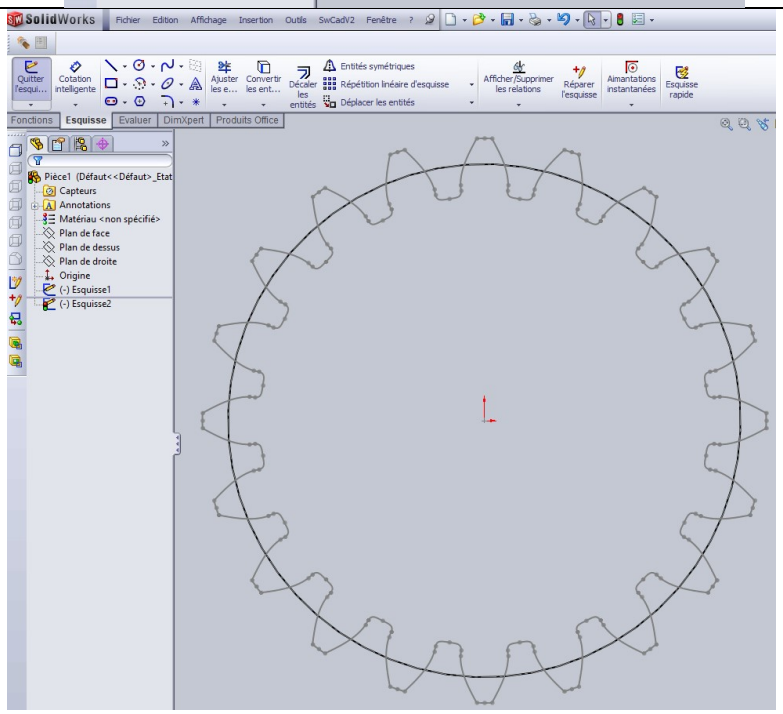
Générer le profil en .dxf avec '*Engrenix*' Ex : ici 20 dents un module de 3 déport nul et un angle d'hélice de 30° créé en mode CAO.	

Insérer ce profil dans une esquisse de ‘*Solidworks*’ en indiquant le nom du fichier généré dans ‘*Engrenix*’

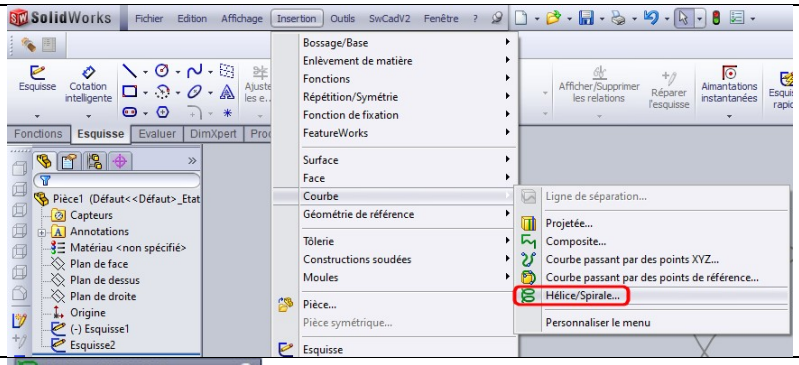


Fermer l’esquisse créée. Créez une nouvelle esquisse et y ‘copier’ le cercle primitif de la première esquisse.
Nota : dans le menu affichage, pensez à valider l’option esquisses pour voir les esquisses en transparence.





A l'aide de la deuxième esquisse créée, construire une hélice en mode hauteur, révolution.

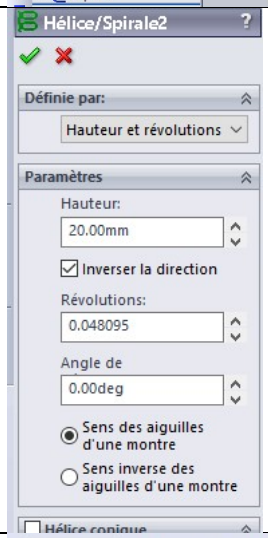


Pignon d'épaisseur 20 :

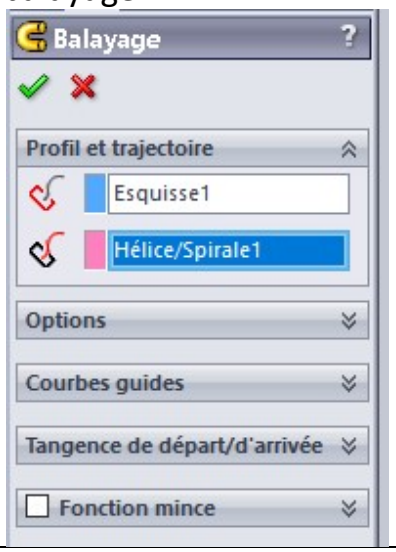
$$revolution = \frac{\sin(angle_helice) \cdot hauteur}{diametre_primitif \cdot \Pi}$$

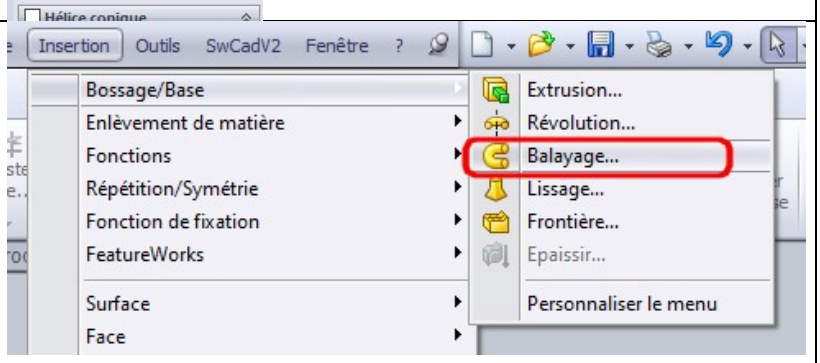
$$revolution = \frac{\sin(30) \cdot 20}{69.28 \cdot \Pi} = 0.048095$$

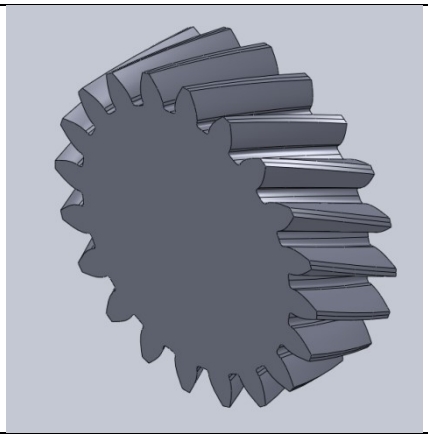
La cote 69.28 à été mesurée à l'aide de l'outil 'mesurer' de '*Solidworks*'. Ou par cotation du cercle primitif dans la première esquisse créée.



Générer le pignon par balayage

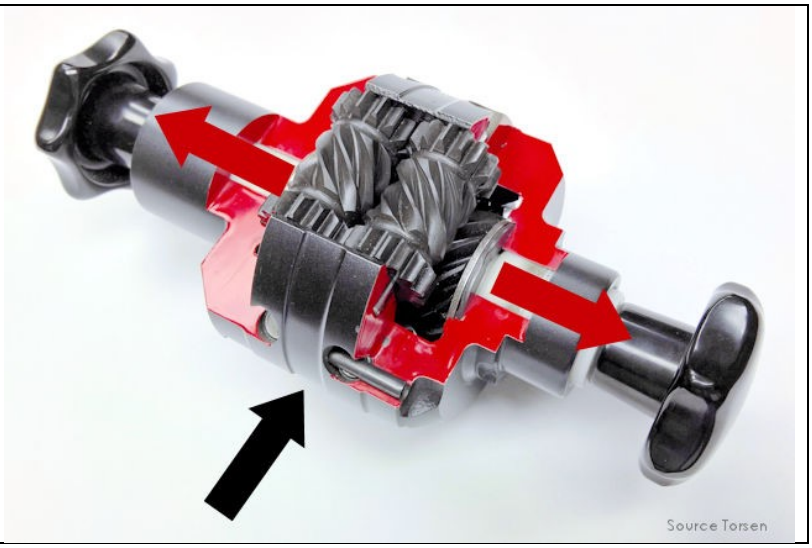




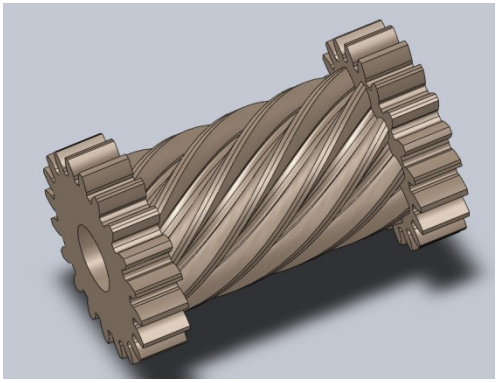
Le résultat : Compétez votre pièce avec les arbres … puis générez un .stl (enregistrer sous en choisissant le format STL) à traiter par le logiciel de votre imprimante 3d.	

Engrenix permet de créer le profil tangentiel d'engrenages hélicoïdaux avec un angle d'hélice de 0 à 45°. Le sens de l'hélice est lui défini par le logiciel de CAO.

Maintenant votre défit :

Créer un différentiel '*Torsen'* qui exploite les engrenages hélicoïdaux (à 45°)	

Si-si c'est possible. Voici un exemple de satellite créé en associant Engrenix et SolidWorks :



. Alors qu'attendez-vous pour relever ce défit ?