

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement

/.../.../.../.../...



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهروميكانيك

Département d'automatique et Electromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

**Master**

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

**Thème**

**Méthodologie de fabrication des engrenages dentés droit à  
l'aide d'une machine à commande numérique**

Présenté par : CHALANE Mohammed  
ZAI Amrou Khaled

Prénom et nom	Grade	Université	
KADDOUR Abdelmadjid	Pr	Univ Ghardaïa	Encadrant
FENNICHE Abderazak	PSC	Univ Ghardaïa	Co-encadrant
LAAMAYAD Taher	MCA	Univ Ghardaïa	Président
BELLAOUAR Abdelrahman	Pr	Univ Ghardaïa	Examineur
AKREMI Faouzi	MAA	Univ Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2024/2025



# Dédicace

*On dédie cet humble ouvrage à toute ma famille  
qui m'a porté aide et soutien tout le long de mon  
parcours universitaire.*

*Toute ma reconnaissance envers mes amis pour  
leur support moral et intellectuel tout au long de ma  
démarche.*

## ***Remerciements***

Je tiens tout d'abord à remercier le Dieu tout-puissant, qui nous a donné la force et la patience de poursuivre notre parcours d'étude et d'avoir éclairé notre chemin afin de réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à notre encadreur **Prof Kaddour Abdelmadjid** pour avoir accepté de diriger ce travail, pour son accompagnement constant durant ce parcours, ainsi que pour ses orientations pertinentes et son appui bienveillant.

Nous tenons aussi à adresser nos remerciements à notre encadreur **Dr. Fenniche Abderazak** pour nous avoir assistés dans ce travail, pour avoir mis à notre disposition l'aide nécessaire qui nous a permis de progresser, ainsi que pour ses conseils utiles et ses encouragements.

Nos remerciements vont également aux membres du jury d'avoir accepté de juger ce modeste travail de fin d'étude.

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants du département de génie mécanique qui ont contribué de près ou de loin à notre parcours de master.

Un grand merci aux responsables de l'Institut de formation professionnelle de Mermed Ghardaïa qui nous ont facilité la tâche dans l'élaboration de ce mémoire, en particulier :

**Mr. Bouamer Abdallah**, Professeur spécialisé en productique mécanique.

Merci à tous.

## Résumé

Ce travail s'appuie sur l'utilisation conjointe de plusieurs outils numériques et moyens de production : **SolidWorks** pour la modélisation 3D et la mise en plan, **AutoCAD** pour la vérification des cotes, ainsi que **EMCO WinNC** sous environnement **SINUMERIK 840D** pour la programmation et la simulation de l'usinage, avant l'exécution sur une fraiseuse **CNC MILL55**.

Il constitue une contribution à l'élaboration de la gamme d'usinage d'un pignon à denture droite pour un réducteur de vitesse à deux étages. L'objectif est de déterminer une stratégie d'usinage adaptée en fonction des moyens de production disponibles. L'étude a été menée à Ghardaïa (Algérie), située aux coordonnées géographiques : 32.49° N, 3.67° E; les opérations pratiques ont été réalisées à l'Institut National Spécialisé en Formation Professionnelle « المجاهد محمد الشريف مساعدي » à Ghardaïa (localisé approximativement au centre-ville de Ghardaïa, coordonnées approchées 32.4910° N, 3.6735° E).

Les données de l'engrenage concernent un pignon à denture droite transmettant le mouvement à une roue menée, avec un entraxe imposé de 93.512 mm, un rapport de transmission de 18/35, un module de 3.5 et un angle de pression de 20°. Dans un premier temps, les dessins ont été analysés pour garantir l'engrènement correct du pignon. La conception 3D et la mise en plan détaillée du pignon corrigé ont ensuite été réalisées à l'aide de SolidWorks, avant que ses cotes ne soient vérifiées et validées sur AutoCAD pour assurer une parfaite conformité.

La stratégie d'usinage proposée se décompose en deux phases, allant de la préparation du brut jusqu'au contrôle de la pièce finie. Elle a été élaborée sur la base du choix de l'acier **31CrMo12** comme matière à usiner, d'une production en moyenne série et d'un brut obtenu par laminage. Les outils de coupe ont été choisis en suivant les recommandations de Sandvik. Toutes les phases d'usinage impliquent les moyens de production à commande numérique (CNC) de l'institut.

**Mots-clés :** Usinage, CNC, Surépaisseur, Taillage, SolidWorks, SINUMERIK 840D, Pignon.

## ملخص

يعتمد هذا العمل على الاستخدام المشترك للعديد من الأدوات الرقمية ووسائل الإنتاج: برنامج SolidWorks للنمذجة ثلاثية الأبعاد (3D) وإعداد الرسومات التنفيذية، وبرنامج AutoCAD للتحقق من الأبعاد، بالإضافة إلى برنامج EMCO WinNC ضمن بيئة SINUMERIK 840D لبرمجة ومحاكاة عملية التصنيع (التشغيل)، قبل التنفيذ على آلة التفريز ذات التحكم الرقمي (CNC) من طراز MILL55.

يُشكل هذا العمل مساهمة في إعداد خطة تصنيع لترس ذي أسنان مستقيمة مخصص لمخفض سرعة ثنائي المراحل. الهدف من ذلك هو تحديد استراتيجية تصنيع ملائمة بناءً على وسائل الإنتاج المتاحة. وقد أُجريت هذه الدراسة في غرداية (الجزائر)، الواقعة عند الإحداثيات الجغرافية: 32.49 درجة شمالاً و 3.67 درجة شرقاً، وقد نُفذت العمليات العملية في المعهد الوطني المتخصص في التكوين المهني «المجاهد محمد الشريف مساعدي» عند الإحداثيات الجغرافية: 32.4910° شمالاً، 3.6735° شرقاً.

تتعلق بيانات الترس بترس مسنن ذي أسنان مستقيمة ينقل الحركة إلى عجلة مُدارة، مع مسافة محورية مفروضة تبلغ 93.512 مم، ونسبة تخفيض تبلغ 35/18، ومعامل تعشيق (module) يساوي 3.5، وزاوية ضغط تبلغ 20 درجة. في مرحلة أولى، تم تحليل الرسومات لضمان التعشيق الصحيح للترس. بعد ذلك، تم إنجاز التصميم ثلاثي الأبعاد والرسم التنفيذي المفصل للترس المصحح باستخدام برنامج SolidWorks، قبل التحقق من أبعاده والمصادقة عليها عبر برنامج AutoCAD لضمان المطابقة التامة.

تنقسم استراتيجية التصنيع المقترحة إلى مرحلتين، بدءاً من تحضير المادة الخام وصولاً إلى فحص القطعة النهائية. وقد وُضعت هذه الاستراتيجية بناءً على اختيار فولاذ 31CrMo12 كمادة للتصنيع، وإنتاج بكميات متوسطة، واستخدام مادة خام تم الحصول عليها عن طريق الدرفلة (laminage). كما تم اختيار أدوات القطع بناءً على توصيات شركة Sandvik. وتتضمن جميع مراحل التصنيع استخدام وسائل الإنتاج ذات التحكم الرقمي (CNC) المتوفرة في المعهد.

الكلمات المفتاحية: تصنيع، تحكم رقمي، سماكة إضافية، قطع التروس، SolidWorks، SINUMERIK 840D، ترس أسطواني.

---

## Abstract

This work is based on the combined use of several digital tools and production means: SolidWorks for 3D modeling and drafting, AutoCAD for dimension verification, as well as EMCO WinNC under the SINUMERIK 840D environment for programming and simulating the machining, prior to execution on a CNC MILL55 milling machine.

It constitutes a contribution to the development of the machining process plan for a straight-toothed pinion for a two-stage speed reducer. The objective is to determine a suitable machining strategy according to the available production means. The study was conducted in Ghardaïa (Algeria), located at the geographical coordinates: 32.49° N, 3.67° E; practical operations were conducted at the Institut National Spécialisé en Formation Professionnelle “Al-Mujahid Mohamed Cherif Messaadia” in Ghardaïa (approximate city-centre location 32.4910° N, 3.6735° E).

The gear data pertains to a straight-toothed pinion that transmits motion to a driven wheel, with a required center distance of 93.512 mm, a transmission ratio of 18/35, a module of 3.5, and a pressure angle of 20°. Initially, the drawings were analyzed to ensure the correct meshing of the pinion. The 3D design and detailed drafting of the corrected pinion were then completed using SolidWorks, before its dimensions were verified and validated in AutoCAD to ensure perfect conformity.

The proposed machining strategy is divided into two phases, ranging from the preparation of the raw material to the inspection of the finished part. It was developed based on the choice of 31CrMo12 steel as the material to be machined, for medium-series production, and using a raw stock obtained by rolling. The cutting tools were selected following Sandvik's recommendations. All machining phases involve the institute's computer numerical control (CNC) production equipment.

**Keywords:** Machining, CNC, Machining Allowance (Surépaisseur), Gear Cutting (Taillage), SolidWorks, SINUMERIK 840D, Pinion.

# TABLE DES MATIÈRES

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
Résumé.....	iii
Table des matières.....	v
Liste des figures.....	ix
Liste des tableaux.....	xii
Liste des abréviations.....	xiii
Introduction Générale.....	01
<b>Chapitre I: Généralités sur les machines CNC</b>	
1. Introduction.....	05
2. Historique des machines-outils à commande numérique.....	05
3. Définition d'une machine à commande numérique.....	06
4. Types de machines CNC.....	07
4.1 Tour CNC.....	07
4.2 La fraiseuse CNC.....	07
4.3 La découpe plasma CNC.....	07
4.4 La découpe laser CNC.....	07
4.5 La perceuse CNC.....	07
5. Caractéristiques des machines CNC.....	08
6. Les avantages et les inconvénients des machines CNC.....	09
6.1 Avantages des machines CNC.....	09
6.2 Inconvénients des machines CNC.....	09
7. Structure générale d'une machine CNC.....	10
7.1 Le système électronique.....	10
7.2 Le système mécanique.....	11
8. Le Rôle des Machines CNC dans le Domaine Industriel.....	12
9.L'importance économique des machines CNC.....	13
10.Structure Physique d'une Machine-Outil à Commande Numérique.....	13
11. Conclusion.....	16
<b>Chapitre II: Engrenages et méthodes de fabrication</b>	
1. Introduction.....	18
2. Différents types d'engrenages et leurs applications.....	18

2.1 Engrenages cylindriques à denture droite.....	19
2.2 Engrenages droits à denture hélicoïdale.....	20
2.3 Engrenages coniques.....	21
2.4 Engrenages à roue et vis sans fin.....	22
3. Caractérisation des engrenages.....	23
3.1 Les engrenages cylindriques à denture droite.....	23
3.2 Les engrenages cylindriques à denture hélicoïdale.....	23
3.3 Les engrenages coniques.....	24
3.4 Les engrenages gauches : le système roue - vis sans fin.....	24
4. Paramètres des engrenages.....	25
4.1 Forme d'engrenage.....	25
4.2 Angle de torsion.....	25
4.3 Nombre de dents.....	25
4.4 Direction de la torsion.....	25
4.5 Configuration des axes d'engrenage.....	26
4.6 Module.....	26
5. Méthodes de fabrication des engrenages.....	26
5.1 Les matériaux utilisés dans la fabrication des engrenages.....	26
5.2 Procédés de fabrication et de taillage d'engrenages : avantages et limites.....	27
<b>Chapitre III: Description du logiciel de fabrication sénumerik 840D</b>	
1. Introduction.....	30
2. Fondements.....	30
2.1 Références pour les fraiseuses EMCO.....	30
2.2 Point de reference.....	31
2.3 Système de coordonnées.....	32
2.3.1 Système de coordonnées absolu en programmation.....	32
2.3.2 Système de coordonnées relatif en programmation.....	32
3. Saisie des données d'outil.....	33
4. Description des touches.....	34
4.1 Clavier de commande, tablette graphique .....	34
4.2 Fonctionnalité multifonction de la touche Shift.....	34
4.3 Pavé numérique et fonctions d'adressage.....	35
4.4 Touche de pavée.....	35

4.5 Configuration de l'écran.....	36
4.6 Touches de commande de la machine.....	37
4.7 Description des touches.....	38
5. Fonctionnement.....	39
5.1 Principe de fonctionnement.....	39
5.2 Appeler le menu de base.....	40
5.3 Navigation dans la fenêtre de menu.....	40
5.4 Navigation dans l'arbre des répertoires.....	40
5.5 Editer des entrées / des valeurs.....	40
5.6 Confirmer / Interrompre des données.....	41
5.7 Commande par la souris.....	41
6. Aperçu des groupes fonctionnal.....	42
6.1 Groupe fonctionnel Machine.....	42
6.2 Accoster le point de reference.....	43
6.3 Déplacement manuel des chariots.....	43
6.4 Déplacement des chariots par pas.....	44
6.5 Mode de fonctionnement MDA.....	44
6.6 Décalage d'origine.....	45
6.6.1 Modifier le décalage d'origine réglable (G54 - G57).....	45
6.6.2 Modifier le décalage d'origine de base.....	45
7. Groupe fonctionnel Programme.....	46
7.1 Types de programme.....	46
7.2 Gestion du programme.....	47
7.2.1 Types de fichier et de repertoire.....	47
7.2.2 Copier / Insérer.....	47
7.2.3 Renommer.....	48
7.2.4 Déblocage.....	48
7.2.5 Simuler un programme.....	49
8. Correction et Mesure d'outil.....	50
8.1 Correction d'outil.....	50
8.2 Changement d'outil.....	51
8.3 Correction de longueur d'outil.....	51
8.4 Touches de fonction reconfigurables.....	53



8.5 Mesurer des outils.....	58
<b>CHAPITRE IV: Méthodologie de fabrication par commande numérique</b>	
1. Introduction.....	62
2. Étude théorique et calculs.....	62
2.1 Choix de la fraise module.....	63
2.2 La parte de calcule.....	63
3. Processus de fabrication par méthodes traditionnelles.....	64
3.1 Première étape: Préparation de la pièce brute sur le tour.....	64
3.2 Deuxième étape: Usinage des dents de l'engrenage.....	65
3.3 Troisième étape : Perçage et chariotage.....	66
3.4 Quatrième étape : Usinage de la rainure de clavette.....	67
4. Modélisation 3D avec SolidWorks.....	68
5. Sélection et paramétrage du pignon.....	69
6. Génération de la fiche technique et préparation pour les mesures dans AutoCAD.....	70
7. Validation des cotes sur AutoCAD.....	73
8. Importation dans la machine CNC et génération de la trajectoire d'usinage.....	75
9. Réglage paramètres de correction outil sur registre machine.....	77
9.1 Entrer des données de décalage d'origine.....	77
9.2 Écriture et programmations de la pièce.....	77
9.3 Simulation de programme.....	78
10. Entretien et maintenance.....	80
10.1 Objet et champ d'application.....	80
10.1.1 Entretien et maintenance du pignon.....	80
10.1.2 Programme d'entretien préventif (planning).....	80
10.1.3 Lubrification et fluide opératoire.....	81
10.1.4 Contrôles et opérations d'inspection.....	82
10.2 Entretien de la machine CNC (MILL55 / SINUMERIK).....	82
10.3 Entretien lié aux méthodes traditionnelles (tour, diviseuse, fraisage conventionnel).....	83
11. Systèmes de coordonnées et origine machine.....	83
12. Conclusion.....	89
Conclusion Général.....	90
Recommandations.....	93

Références.....	96
Annexe.....	101

# LISTE DES FIGURES

## Chapitre I: Généralités sur les machines CNC

<b>Figure I.1:</b> Composition du système électronique d'une machine CNC.....	11
<b>Figure I.2:</b> Structure mécanique d'une machine CNC.....	12
<b>Figure I.3:</b> Schéma montrant la structure d'une MOCN.....	14
<b>Figure I.4 :</b> Image présentant la partie opérative.....	14
<b>Figure I.5:</b> schéma montrant la fonction originale d'une commande numérique.....	15

## Chapitre II: Engrenages et méthodes de fabrication

<b>Figure II.1:</b> Classification de types d'engrenages.....	18
<b>Figure II.2:</b> Exemples de types d'engrenages.....	19
<b>Figure II.3:</b> Représentation des engrenages cylindriques à denture droite.....	20
<b>Figure II.4:</b> Représentation des engrenages cylindriques à denture hélicoïdale.....	20
<b>Figure II.5 :</b> Engrenages cylindriques à denture hélicoïdale.....	21
<b>Figure II.6:</b> Représentation des engrenages coniques.....	22
<b>Figure II.7:</b> Représentation des engrenages à roue et vis sans fin.....	23
<b>Figure II.8 :</b> Pignons à denture hélicoïdale.....	23
<b>Figure II.9 :</b> Engrenages coniques.....	24
<b>Figure II.10 :</b> Engrenage à vis sans fin.....	24

## Chapitre III: Description du logiciel de fabrication sénumerik 840D

<b>Figure III.1 :</b> Points de référence dans le volume d'usinage.....	31
<b>Figure III.2 :</b> Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W.....	31
<b>Figure III.3 :</b> Les coordonnées absolues et les coordonnées relatives à la position de l'outil.....	32
<b>Figure III.4 :</b> Correction de longueur.....	33
<b>Figure III.5 :</b> Clavier de commande.....	34
<b>Figure III.6 :</b> Bloc des adresses/Numérique.....	35
<b>Figure III.7 :</b> Configuration de l'interface de l'instrument de mesure.....	36
<b>Figure III.8 :</b> Tableau de commande machine de la série EMCO Concept-Mill.....	37
<b>Figure III.9 :</b> Simulation graphique des mouvements d'outil.....	49
<b>Figure III 10 :</b> a) correction longueur d'outil.....	52

<b>Figure III 10 : b) Fenêtre de mesure d'outil.....</b>	<b>52</b>
<b>Figure III 11 : Plan G18 et g19.....</b>	<b>56</b>
<b>Figure III 12 : Valeurs de correction nécessaire pour forets.....</b>	<b>57</b>
<b>Figure III 13: Mesure Tête angulaire.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure III 14: Entrer le rayon d'outil.....</b>	<b>60</b>

#### CHAPITRE IV: Méthodologie de fabrication par commande numérique

<b>Figure IV.1: Coupe de réducteur.....</b>	<b>62</b>
<b>Figure IV.2: Préparation de la pièce brute sur le tour Harrison M390.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure IV.3: Taillage des dents d'engrenage sur fraiseuse avec diviseur.....</b>	<b>66</b>
<b>Figure IV.4: Diviseur 1/40 pour le déplacement entre dents d'engrenage.....</b>	<b>66</b>
<b>Figure IV.5: Perçage et chariotage final de l'axe de pignon.....</b>	<b>67</b>
<b>Figure IV.6: Dessin de pignon avec SolidWorks.....</b>	<b>68</b>
<b>Figure IV.7: Choix du pignon et configuration des paramètres.....</b>	<b>70</b>
<b>Figure IV.8: Création de la mise en plan technique au format A4.....</b>	<b>71</b>
<b>Figure IV.9: Mise en plan détaillée de l'engrenage avec cotes techniques.....</b>	<b>72</b>
<b>Figure IV.10: Passage à " AutoCAD" et vérification des côtes du pignon.....</b>	<b>73</b>
<b>Figure IV.11: a) Poste de travail d'usinage CNC.....</b>	<b>75</b>
<b>Figure IV.11: b) Vue rapprochée de la tête de fraisage.....</b>	<b>75</b>
<b>Figure IV.12: Simulation et lancement du fraisage avec EMCO WinNC.....</b>	<b>75</b>
<b>Figure IV.13: Simulation et programmation de l'engrenage dans EMCO WinNC SINUMERIK 840D.....</b>	<b>76</b>
<b>Figure IV.14: Réglage des décalages d'origine et enregistrement dans le registre G54.....</b>	<b>77</b>
<b>Figure IV.15: Programmation de l'engrenage avec sous-programmes CCC et DDD dans EMCO WinNC.....</b>	<b>78</b>
<b>Figure IV.16: Simulation 3D du programme d'usinage dans EMCO WinNC.....</b>	<b>78</b>
<b>Figure IV.17: Programmation et configuration des paramètres d'usinage dans EMCO WinNC.....</b>	<b>79</b>
<b>Figure IV.18: Fraisage de l'engrenage en cours sur machine CNC.....</b>	<b>79</b>
<b>Figure IV.19: Coupe transversale de l'assemblage du pignon conique étudié.....</b>	<b>80</b>
<b>Figure IV.20: Comparaison entre la lubrification par barbotage (splash) et par circulation forcée.....</b>	<b>81</b>
<b>Figure IV.21: Exemple de lubrification par jet d'huile (oil-jet) ciblant l'engrènement.....</b>	<b>81</b>

<b>Figure IV.22:</b> Schéma d'un circuit de lubrification complet avec filtration et refroidissement.....	82
<b>Figure IV.23:</b> Plans de travail G17-G19 avec cotation absolue (G90) et incrémentale (G91).....	84
<b>Figure IV.24:</b> AS1/AS2 Trajectoire d'approche et trajectoire d'éloignement.....	87

# LISTE DES TABLEAUX

## Chapitre I: Généralités sur les machines CNC

<b>Tableau I.1:</b> Chronologie du développement de la technologie de commande numérique (CN).....	06
--	----

## Chapitre II : Engrenages et méthodes de fabrication

<b>Tableau II.1:</b> Procédés de Fabrication et de Taillage d'Engrenages.....	27
---	----

<b>Tableau II.2:</b> Méthodes d'Usinage des Engrenages.....	28
---	----

## Chapitre III: Description du logiciel de fabrication sénumerik 840D

<b>Tableau III.1:</b> Groupes fonctionnelles.....	42
---	----

## CHAPITRE IV: Méthodologie de fabrication par commande numérique

<b>Tableau IV.1:</b> classification des fraises.....	63
--	----

<b>Tableau IV.2:</b> Coordonnées de la trajectoire d'usinage.....	74
---	----

<b>Tableau IV.3:</b> Cycles de fraisage.....	85
--	----

# LISTE DES ABBREVIATIONS

CAO: Conception Assistée par Ordinateur

CD-ROM: Compact Disc Read-Only Memory

CN: Commande Numérique

CNC: Commande Numérique par Calculateur

DCN: Directeur de Commande Numérique

DNC: Direct Numerical Control

FA: Fabrication Additive

FAO: Fabrication Assistée par Ordinateur

LENS: Laser Engineered Net Shaping

MDA: Manual Data Automatic

PC: Partie Commande

PO: Partie Opérative

XFEM: eXtended Finite Element Method

# Introduction Générale



L'avènement des machines-outils à commande numérique (CNC) a transformé les standards de précision et de répétabilité en fabrication mécanique. Cependant, la disponibilité de ces moyens ne suffit pas : le défi reste la maîtrise de la chaîne numérique complète, depuis la conception 3D jusqu'à l'usinage, afin de transformer un modèle virtuel en une pièce conforme sans perte d'information.

Parmi les composants essentiels en génie mécanique, les engrenages occupent une place centrale. Leur fabrication par des méthodes traditionnelles (tour, fraiseuse, diviseur manuel) demeure formatrice mais présente des limites — réglages longs, dépendance au savoir-faire opérateur et variabilité en série — qui augmentent les coûts et peuvent compromettre la fiabilité.

Ce mémoire, préparé pour l'obtention du Master en Maintenance Industrielle (Dépt. Électromécanique, Univ. de Ghardaïa), s'inscrit dans le cadre d'un institut de formation engagé vers la modernisation de ses pratiques. Le projet, mené en deux phases (stage d'immersion puis réalisation pratique), vise à remplacer une méthode fragmentée par une méthodologie intégrée et numérique, permettant d'améliorer la précision, d'optimiser les temps d'usinage et de réduire les interventions manuelles.

L'objectif principal est de développer et valider une chaîne numérique complète — modélisation 3D sous SolidWorks, vérification des cotes sous AutoCAD, programmation et simulation avec EMCO WinNC dans l'environnement SINUMERIK 840D, puis usinage sur une fraiseuse CNC MILL55 — appliquée à un pignon cylindrique à denture droite. Les données de conception retenues dans l'étude sont : entraxe imposé 93,512 mm, rapport 18/35, module = 3.5 et angle de pression 20°. Le choix matière est l'acier 31CrMo12 (brut laminé) et les outils de coupe suivent les recommandations Sandvik.

Plus spécifiquement, le travail vise à démontrer la faisabilité d'un flux SolidWorks → AutoCAD → EMCO/SINUMERIK, à établir une gamme d'usinage adaptée aux moyens de l'institut (production en moyenne série) et à vérifier expérimentalement la conformité dimensionnelle et la qualité de surface. La validation comprendra contrôles dimensionnels, mesures de rugosité et essais d'assemblage fonctionnel, précédés systématiquement de simulations pour sécuriser l'exécution machine.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres :

**Chapitre I** : Présente les fondements des machines à commande numérique (CNC), leur évolution, leurs caractéristiques et leur rôle stratégique dans l'industrie.

**Chapitre II** : Se consacre à l'étude des engrenages, en détaillant leurs typologies, leurs paramètres caractéristiques et les procédés de fabrication associés.

**Chapitre III** : Décrit en détail l'environnement de programmation SINUMERIK 840D, logiciel de pilotage de la machine CNC utilisée dans le cadre de ce projet.

**Chapitre IV** : Constitue le cœur de notre contribution, en exposant pas à pas l'élaboration de la stratégie d'usinage, depuis le choix de la matière jusqu'au contrôle final de la pièce usinée.

En synthèse, cette étude illustre, par un cas pratique mené dans un contexte pédagogique industriel, comment l'intégration rigoureuse des outils numériques et des procédés CNC permet d'améliorer l'efficacité, la précision et la transférabilité des méthodes d'usinage.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les machines**

### **CNC**

### 1. Introduction

Les machines à Commande Numérique par Calculateur (CNC) représentent une révolution technologique majeure dans l'histoire de l'industrie manufacturière. Depuis la première machine-outil industrielle à commande numérique en 1954 jusqu'aux systèmes interconnectés d'aujourd'hui, cette technologie a transformé fondamentalement les processus de production à travers le monde.

Au cœur de la modernisation industrielle, les machines CNC combinent précision exceptionnelle, productivité accrue et flexibilité sans précédent pour répondre aux exigences croissantes des marchés contemporains. Leur capacité à traduire des données numériques en mouvements mécaniques précis a non seulement révolutionné la fabrication de composants complexes, mais a également redéfini les modèles économiques et les chaînes de valeur industrielles.

Ce chapitre explore l'univers des machines CNC, depuis leur développement historique jusqu'à leur impact économique, en passant par leurs caractéristiques techniques, leurs typologies et leurs applications diverses dans le paysage industriel moderne. À travers cette étude, nous découvrirons comment ces équipements sont devenus indispensables à la compétitivité des entreprises manufacturières et au développement des économies avancées.

### 2. Historique des machines-outils à commande numérique

Le développement de la technologie de commande numérique (CN) a connu plusieurs étapes importantes. En 1954, la première machine-outil industrielle à commande numérique voit le jour, marquant un tournant dans l'histoire de la production. En 1958, le premier langage de programmation symbolique a été développé, facilitant la programmation des machines. En 1965, le premier système de changement d'outils automatique est lancé. Par la suite, en 1969, le premier système de contrôle à courant continu (DNC) a été mis en service. En 1972, la première machine-outil CNC équipée d'un microprocesseur arrive sur le marché, ce qui représente une avancée majeure. En 1984, des machines CNC avec assistance à la programmation graphique ont été introduites, améliorant l'interaction avec l'utilisateur. En 1994, l'intégration complète des systèmes de conception assistée par ordinateur (CAO), de fabrication assistée par ordinateur (FAO) et de commande numérique par ordinateur (CNC) a été réalisée. Enfin, en l'an 2000, les interfaces Internet ont facilité l'échange de données à l'échelle mondiale, tout en permettant un diagnostic intelligent des pannes, ce qui a considérablement renforcé l'efficacité et la flexibilité de la production.

Les principales étapes de cette évolution technologique peuvent être résumées dans le tableau suivant :

<i>Événement</i>	<i>Date</i>
<i>Fabrication de la première machine NC à usage industriel</i>	1954
<i>Développement du premier langage de programmation symbolique</i>	1958
<i>Introduction du premier système automatique de changement d'outils</i>	1965
<i>Installation du premier système de commande directe (DNC)</i>	1969
<i>Première machine CNC intégrant un microprocesseur</i>	1972
<i>Première machine CNC avec assistance à la programmation graphique</i>	1984
<i>Intégration complète entre CAO, FAO et CNC</i>	1994
<i>Interfaces Internet permettant l'échange mondial de données et le diagnostic intelligent des pannes</i>	2000

**Tableau I.1** : Chronologie du développement de la technologie de commande numérique (CN)

### 3. Définition d'une machine à commande numérique

Un système CNC est un outil automatisé qui contrôle les mouvements et les actions d'une machine en utilisant un programme informatique. Cette programmation utilise souvent le langage G-code, qui est un langage standard. Il décrit les chemins, les vitesses, les profondeurs de coupe et les actions à réaliser. La machine CNC sert surtout à copier très précisément un modèle ou un design fait sur ordinateur.

Un gadget CNC est fait de plusieurs parties : une unité de contrôle, des moteurs, des capteurs de position, une interface utilisateur et une structure solide. Elle peut travailler sur plusieurs tâches en même temps, ce qui lui permet de faire des choses compliquées rapidement. Par exemple, une fraiseuse CNC peut créer un objet en 3D avec une précision très fine, au niveau du micron.

L'objectif fondamental de cette technologie réside dans la réduction de la nécessité d'interventions humaines. Cela contribue à renforcer la sécurité, à diminuer le risque d'erreurs et à garantir l'uniformité des résultats. De surcroît, les machines à commande numérique par ordinateur (CNC) trouvent des applications dans de nombreux secteurs, tels que la mécanique de précision, l'aéronautique, la fabrication de moules, l'électronique, la bijouterie, ainsi que dans le domaine médical pour la réalisation d'implants sur mesure.

### 4. Types de machines CNC

Les machines CNC possèdent plusieurs types selon l'opération qu'elles doivent effectuer. Chaque machine a ses propres caractéristiques et un rôle spécifique qui la rend adaptée au processus de fabrication visé. Voici les types les plus utilisés :

#### 4.1 Tour CNC :

Ce type est utilisé pour plusieurs opérations, notamment le tournage. Dans cette opération, l'outil de coupe se déplace le long d'axes définis pour enlever de la matière et façonner la surface. La pièce est fixée dans un mandrin qui tourne à une certaine vitesse. Ce type est souvent utilisé dans la fabrication d'arbres, d'anneaux métalliques et de tuyaux, car il permet d'effectuer plusieurs opérations en une seule étape. En résumé, il est utilisé pour le tournage, où la pièce tourne pendant que l'outil effectue la coupe.

#### 4.2 La fraiseuse CNC:

Dans ce type, l'outil tourne autour de la pièce pour la façonner selon les dimensions et la forme souhaitées. Cet outil permet d'effectuer plusieurs opérations comme le perçage, le surfacage, etc. Il est largement utilisé dans la fabrication de composants mécaniques complexes, de moules et de pièces de précision. Il existe des modèles à axes multiples pour une plus grande précision et flexibilité. En résumé, l'outil tourne autour de la pièce et la façonne selon les dimensions demandées.

#### 4.3 La découpe plasma CNC:

Ce type nécessite une température élevée pour couper les métaux à l'aide d'un arc électrique. Il génère une chaleur très intense qui permet de couper des métaux comme le fer, l'acier et l'aluminium. Ses principales caractéristiques sont la rapidité et l'efficacité de coupe. C'est un type très courant dans les domaines de la construction. En résumé, il utilise un arc électrique pour découper les métaux à très haute température.

#### 4.4 La découpe laser CNC:

Comme son nom l'indique, elle utilise un laser pour effectuer la découpe, ce qui permet une grande précision. Elle est idéale pour les opérations qui nécessitent une extrême précision, grâce aux logiciels qui la contrôlent. Elle est utilisée sur divers matériaux tels que le plastique, le bois, le métal et le verre. Ce type est couramment utilisé dans la fabrication de bijoux, la conception de maquettes architecturales et même la production d'électronique.

#### 4.5 La perceuse CNC:

Comme son nom l'indique, elle est utilisée pour percer des trous de différents diamètres et tailles, avec un contrôle total sur la profondeur et le diamètre. Elle est largement utilisée dans la fabrication de

structures métalliques, de pièces automobiles et aéronautiques, voire de lunettes électroniques. En résumé, elle est utilisée pour percer des trous de précision avec des diamètres et profondeurs variés.

### 5. Caractéristiques des machines CNC

Les machines à commande numérique (CNC) se distinguent par plusieurs caractéristiques qui leur confèrent une qualité et une précision élevées, ou dans certains cas, faibles. Parmi ces caractéristiques, cinq principales méritent d'être soulignées :

#### **la précision :**

Plus la machine est capable de respecter des dimensions précises avec un haut degré de rigueur et de finesse, plus elle est idéale pour les industries exigeantes telles que l'aéronautique, la médecine et tous les domaines sensibles.

#### **la répétabilité :**

Il s'agit de la capacité de la machine à reproduire exactement les mêmes effets à chaque utilisation, permettant ainsi l'obtention de pièces parfaitement identiques. Cette caractéristique est essentielle dans les productions en série afin de garantir des résultats stables et homogènes.

#### **le nombre d'axes :**

Généralement, les machines CNC possèdent entre trois axes, au minimum, et cinq axes ou plus. Les machines à trois axes travaillent dans les directions de base, tandis que celles à cinq axes ou plus sont utilisées pour des opérations complexes nécessitant des mouvements selon plusieurs angles, offrant ainsi une précision supérieure.

#### **la vitesse :**

Comme dans la plupart des industries, la vitesse, lorsqu'elle est associée à l'efficacité, indique une production optimisée. Dans le cas des machines CNC, cela inclut plusieurs aspects : la vitesse de rotation de la broche, la vitesse de réponse aux commandes, ainsi que la vitesse de déplacement. Tous ces éléments jouent un rôle déterminant dans la réduction des temps de cycle et l'augmentation de la productivité, tout en maintenant une haute qualité des pièces fabriquées. Cinquièmement, et enfin, le système de contrôle : les systèmes de commande modernes permettent de gérer des programmes complexes et précis avec une grande efficacité. Ils s'appuient sur des technologies avancées qui offrent à l'opérateur la possibilité de charger des programmes complexes ou d'utiliser des systèmes de conception et fabrication assistées par ordinateur (CAO/FAO). Ces systèmes assurent un suivi continu des performances, la détection des pannes, et contribuent à renforcer l'efficacité opérationnelle.

### 6. Les avantages et les inconvénients des machines CNC

Les machines à commande numérique par ordinateur (CNC) représentent une avancée technologique majeure dans l'industrie manufacturière moderne. Cette analyse explore les multiples facettes de cette technologie, en soulignant ses bénéfices et ses limites.

#### 6.1 Avantages des machines CNC

- Efficacité et précision de production : Les machines CNC permettent des temps de travail courts et une répétabilité précise des processus . Grâce au développement de la technologie de contrôle numérique, l'efficacité des processus de production et le niveau élevé d'automatisation ont considérablement amélioré les performances des machines CNC . Le développement de la technologie d'usinage à grande vitesse (High Speed Cutting) a également contribué à l'amélioration des machines CNC standard .
- Flexibilité de production et applications diverses : Les machines CNC sont utilisées dans une variété de domaines, notamment pour la fabrication de composants aérospatiaux , l'usinage de panneaux en bois lamellé-croisé (CLT) , et la fabrication d'engrenages coniques spiralés . Cette polyvalence démontre leur adaptabilité à différents contextes industriels.
- Intégration avec d'autres technologies : L'évolution récente des machines CNC inclut leur combinaison avec la fabrication additive pour créer des systèmes de fabrication hybrides . Cette approche permet la production de pièces complexes, comme des systèmes de capteurs imprimés en 3D . Ces systèmes hybrides combinent la précision de l'usinage CNC avec la capacité de la fabrication additive à créer des formes complexes .
- Avantages environnementaux : Dans une perspective de cycle de vie, certaines technologies CNC modernes, notamment lorsqu'elles sont intégrées à des systèmes de fabrication additive comme le LENS (Laser Engineered Net Shaping), peuvent présenter des avantages environnementaux significatifs par rapport aux méthodes d'usinage traditionnelles .

#### 6.2 Inconvénients des machines CNC

- Nécessité d'expertise humaine: Malgré leur haut niveau d'automatisation, les machines CNC nécessitent toujours d'être contrôlées et gérées par un opérateur expert qui doit interagir avec l'interface utilisateur pour accomplir ses tâches et configurer la machine . Cette dépendance à l'expertise humaine constitue un défi majeur.
- Limitations des interfaces utilisateur : Les interfaces de la plupart des machines CNC actuelles présentent plusieurs limitations . Malheureusement, il existe peu d'études approfondies sur la façon dont les opérateurs humains gèrent et perçoivent l'interaction avec ces machines, ce qui limite l'amélioration de l'expérience utilisateur .



- Défis spécifiques à certaines applications : Pour l'usinage des panneaux de bois lamellé-croisé (CLT), les machines CNC traditionnelles présentent des inconvénients comme la difficulté de serrer des lots de panneaux massifs avec des profils individuels, le manque de flexibilité pour accéder à tous les angles d'usinage aigus, et des problèmes d'extraction de poussière .
- Limitations techniques : Les machines CNC conventionnelles peuvent présenter des erreurs thermiques qui affectent leur précision . De plus, l'interpolation des trajectoires d'outils pour l'usinage de surfaces de forme libre peut entraîner des fluctuations à haute fréquence de la vitesse d'avance et de l'accélération, ce qui diminue l'efficacité de l'usinage et la finition de surface du produit.

### 7. Structure générale d'une machine CNC

Ce système est divisé en deux parties principales et une partie secondaire.

Les deux parties principales sont : le système mécanique et le système électronique.

Le système mécanique reçoit les signaux de commande nécessaires du système électronique, ce qui permet l'actionnement souhaité des moteurs.

Le système électronique, quant à lui, reçoit un ensemble de commandes provenant du système logiciel, et génère les ordres pour le système mécanique.

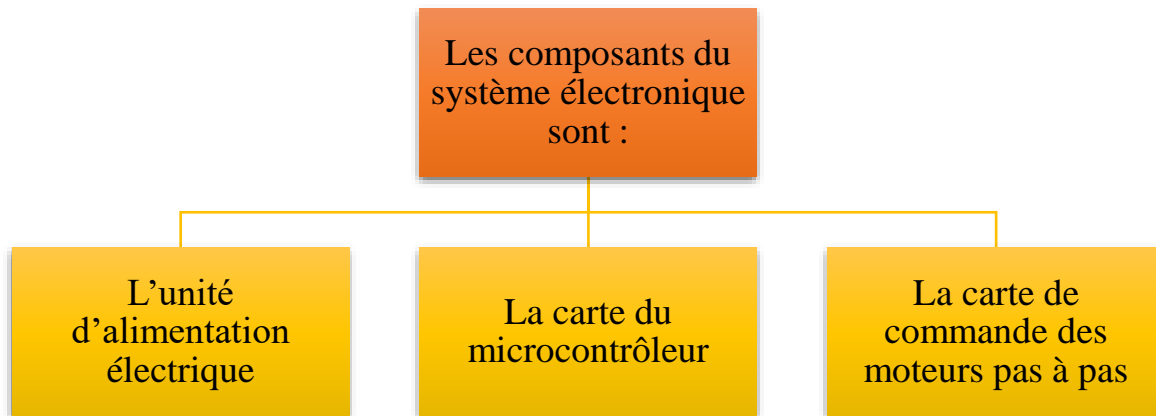
Le système logiciel, considéré comme la troisième partie (secondaire), est la source des commandes que reçoit le système électronique. Il est donc un complément essentiel.

Nous allons maintenant aborder les deux parties principales, à commencer par :

#### 7.1 Le système électronique :

Le système électronique est responsable de la génération des signaux de commande pour les moteurs, qui guident le mouvement de la trajectoire de l'outil dans chaque direction ou axe.

Ses composants sont les suivants (Voir la **Figure I.1**) :



**Figure I.1:** Composition du système électronique d'une machine CNC

### 7.2 Le système mécanique

Le système mécanique est assemblé de manière à permettre le mouvement des trois axes à l'aide de rails linéaires équipés de roulements linéaires.

Chaque moteur est monté sur l'axe responsable du mouvement et fonctionne en fonction du signal de commande généré par le circuit électronique (Voir la **Figure I.2**).

Chaque moteur est relié à une vis sans fin propre à chaque axe, chargée de transformer le mouvement de rotation du moteur en mouvement linéaire.

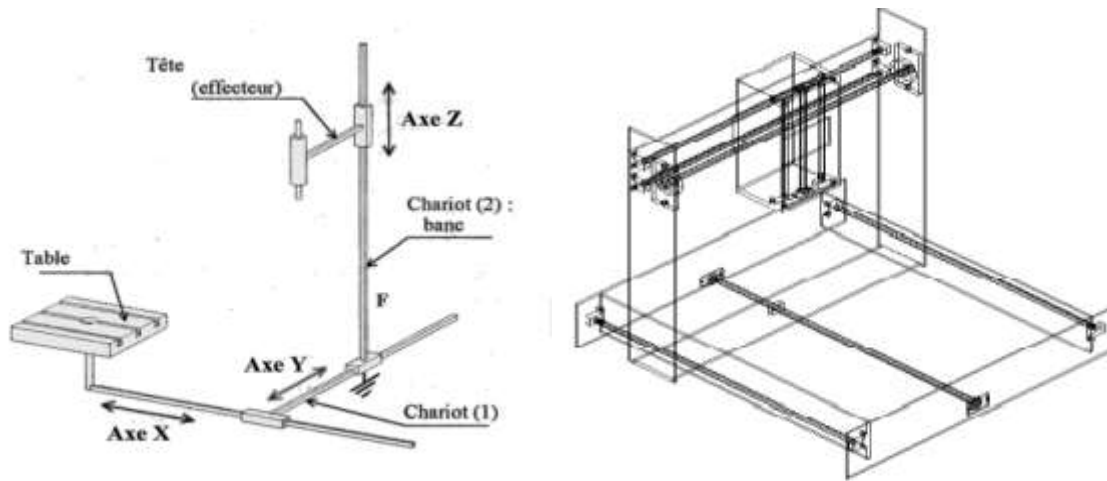
Le mouvement contrôlé de chaque axe est obtenu directement par la commande de la rotation du moteur.

La vitesse du mouvement de chaque axe peut également être contrôlée par le contrôle direct de la vitesse du moteur, en fournissant les signaux de commande nécessaires.

Ainsi, la trajectoire de l'outil fixé à l'extrémité (tête de la machine) est contrôlée sur chaque axe pour effectuer les opérations sur la pièce à usiner.

Pour éviter que les axes ne dépassent la plage de fonctionnement, des capteurs de fin de course (fins de course) sont utilisés pour chaque axe.

Un bouton d'arrêt d'urgence manuel peut également être utilisé pour arrêter la machine en cas de besoin.



**Figure I.2:** structure mécanique d'une machine CNC

### 8. Le Rôle des Machines CNC dans le Domaine Industriel

Les machines à Commande Numérique par Calculateur (CNC) jouent un rôle fondamental dans l'industrie moderne, transformant radicalement les processus de fabrication depuis leur introduction. Leur impact s'étend à de nombreux secteurs industriels pour plusieurs raisons essentielles:

La précision et la répétabilité constituent leurs atouts majeurs. Les machines CNC peuvent réaliser des pièces complexes avec une exactitude de l'ordre du micron, garantissant l'uniformité de production même pour des séries importantes. Cette précision permet la fabrication de composants sophistiqués impossibles à réaliser manuellement.

En termes de productivité, les machines CNC fonctionnent sans interruption, réduisant considérablement les temps de cycle. Leur capacité d'automatisation diminue l'intervention humaine et augmente le rendement, permettant la production en grandes séries avec une qualité constante.

La flexibilité représente un autre avantage déterminant. Un simple changement de programme suffit pour passer d'une pièce à une autre, facilitant la personnalisation de masse et la fabrication à la demande. Cette adaptabilité permet aux industries de répondre rapidement aux évolutions du marché.

Dans le contexte de l'Industrie 4.0, les machines CNC s'intègrent parfaitement aux environnements connectés, communiquant avec d'autres équipements et systèmes de gestion pour optimiser la production. Cette connectivité favorise la maintenance prédictive et l'amélioration continue des processus.

Les applications des machines CNC s'étendent à pratiquement tous les secteurs industriels : aéronautique, automobile, médical, électronique, ou encore le mobilier et la décoration. Cette polyvalence en fait un équipement central dans toute stratégie de production industrielle moderne.

### 9. L'importance économique des machines CNC

Les machines CNC représentent un pilier fondamental de l'économie industrielle moderne, transformant radicalement les capacités de production et la structure des coûts manufacturiers. Leur adoption permet aux entreprises d'atteindre des niveaux de productivité sans précédent grâce à l'automatisation des processus complexes, la réduction des temps de cycle et la possibilité de fonctionnement continu, ce qui se traduit directement par une diminution significative des coûts unitaires de production et une compétitivité accrue sur les marchés mondiaux.

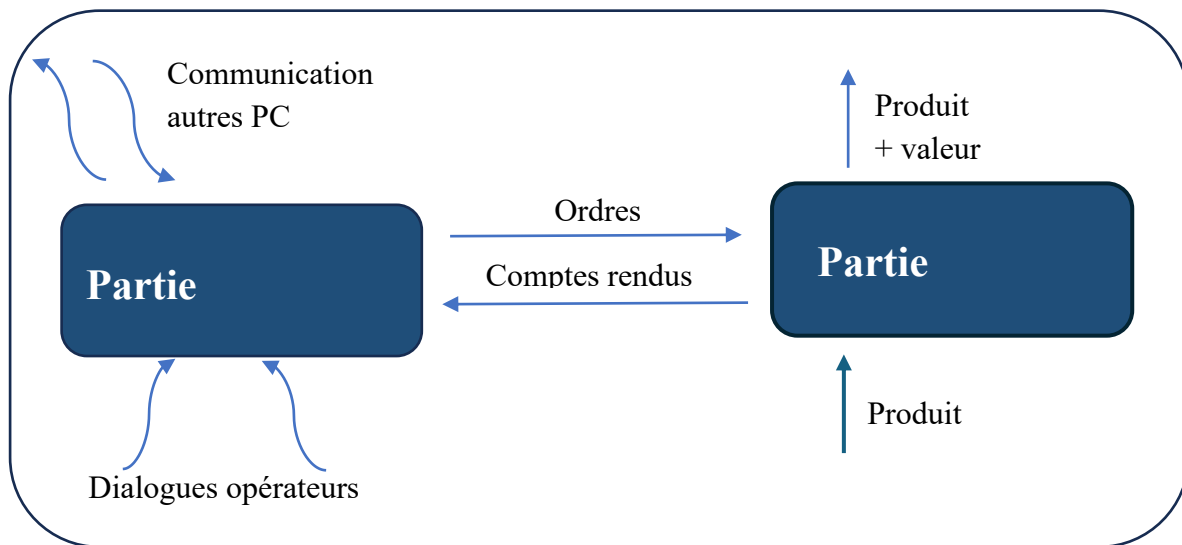
Malgré un investissement initial conséquent, ces technologies offrent un retour sur investissement généralement attractif en optimisant l'utilisation des matières premières, en réduisant les besoins en main-d'œuvre directe et en minimisant les défauts de fabrication. Cette efficience économique permet aux entreprises d'amortir rapidement leurs équipements tout en générant des marges plus importantes, particulièrement dans la production de composants à haute valeur ajoutée qui seraient impossibles ou non rentables à fabriquer avec des méthodes conventionnelles.

L'impact économique des machines CNC s'étend au-delà des entreprises individuelles pour influencer des secteurs industriels entiers et même des économies nationales. Dans plusieurs pays développés, ces technologies ont contribué à revitaliser le secteur manufacturier en permettant la relocalisation d'activités précédemment délocalisées, la haute automatisation compensant les différentiels de coûts salariaux avec les pays émergents. Cette tendance a des implications majeures pour les équilibres commerciaux internationaux et les politiques industrielles des nations.

Sur le plan du marché du travail, les technologies CNC ont provoqué une transformation profonde de la demande de compétences, réduisant certains emplois manuels traditionnels mais créant parallèlement une forte demande pour des profils techniques hautement qualifiés. Cette évolution a stimulé le développement de programmes de formation spécialisés et contribué à l'émergence d'un écosystème économique autour de ces technologies, incluant des services de programmation, maintenance, formation et conseil qui génèrent eux-mêmes une valeur économique substantielle.

### 10. Structure Physique d'une Machine-Outil à Commande Numérique

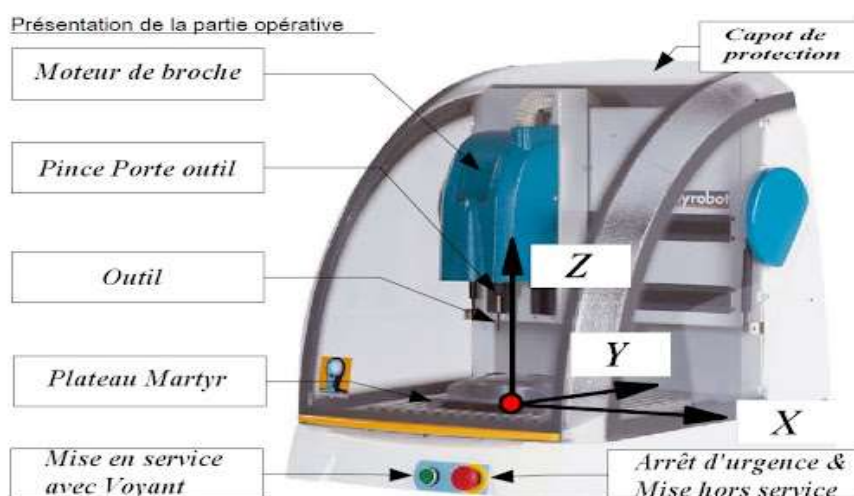
La structure physique d'une machine-outil à commande numérique repose sur une architecture bien définie qui permet son fonctionnement automatisé. Cette structure est organisée autour de deux composantes principales : la partie opérative, qui constitue l'ensemble des éléments mécaniques réalisant le travail, et la partie commande, représentée par le Directeur de Commande Numérique (DCN) qui gère et contrôle les opérations d'usinage selon les programmes établis (Voir la **Figure I.3**).



**Figure I.3:** schéma montrant la structure d'une MOCN

### ❖ La Partie Opérative :

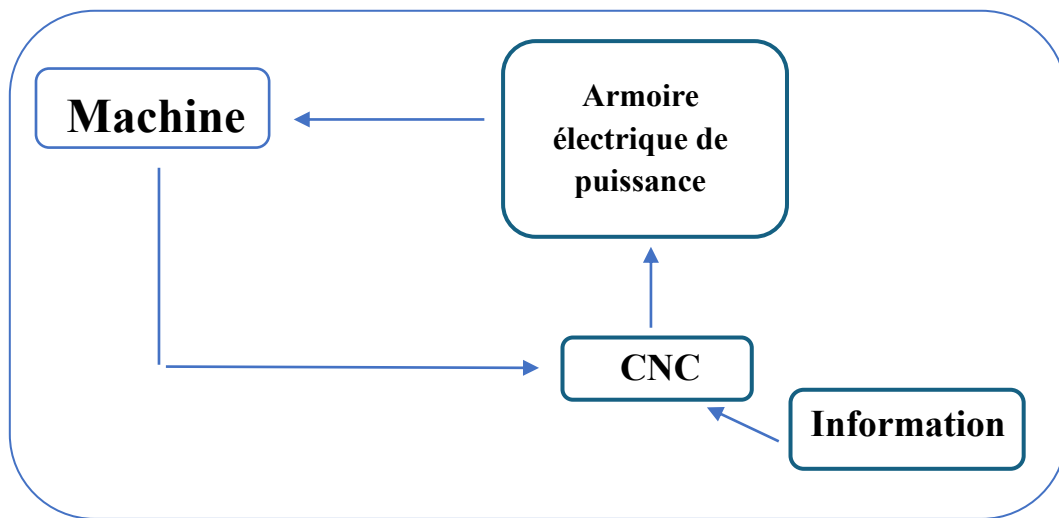
La partie opérative (notée PO) représente la machine elle-même et constitue l'élément physique d'exécution de l'usinage. Bien qu'elle soit fonctionnellement similaire aux machines conventionnelles, elle offre des performances supérieures grâce à ses composants spécifiques. Cette partie comprend principalement le bâti, les mobiles (tables ou chariots) reliés par des liaisons glissières ou pivots, les moteurs d'entraînement, les capteurs de position et de vitesse formant ensemble les axes numériques. La structure peut intégrer plusieurs têtes d'usinage motorisées selon des systèmes d'axes indépendants, ainsi que des dispositifs annexes de serrage et de lubrification pour optimiser les opérations d'usinage (Voir la **Figure I.4**).



**Figure I.4 :** Image présentant la partie opérative

### ❖ La Partie Commande :

La partie commande (PC) constitue le cœur intelligent de la machine-outil à commande numérique, permettant de gérer et de contrôler l'ensemble des mouvements d'usinage tout en fournissant des informations à l'opérateur sur le déroulement des opérations. Alimentée par un courant faible, elle s'articule autour de trois sous-ensembles principaux (Voir la **Figure I.5**) : le Directeur de Commande Numérique (DCN) qui interprète le programme pièce et génère les consignes de déplacement pour les organes mobiles, l'automate programmable qui gère la séquence des opérations, et les interfaces avec la partie opérative qui assurent la communication entre ces deux composantes du système .



**Figure I.5:** Schéma montrant la fonction originale d'une commande numérique

### **11.Conclusion :**

Les machines CNC ont révolutionné la fabrication industrielle en établissant de nouveaux standards de précision, de rapidité et de fiabilité. Leur capacité à associer productivité, flexibilité et automatisation en fait un outil incontournable pour répondre aux exigences de la production moderne. Au-delà de leur apport technique, elles constituent un levier économique et stratégique essentiel, permettant de renforcer la compétitivité des entreprises et de soutenir la relocalisation industrielle. Dans la dynamique de l'Industrie 4.0, leur intégration aux systèmes numériques connectés ouvre des perspectives inédites d'optimisation, d'innovation et de développement durable.

# **Chapitre II**

# **Engrenages et méthodes de fabrication**



### 1. Introduction :

Les engrenages sont des éléments mécaniques fondamentaux. Ils figurent parmi les systèmes de transmission de mouvement et de puissance les plus répandus, reconnus pour leur robustesse et leur longévité.

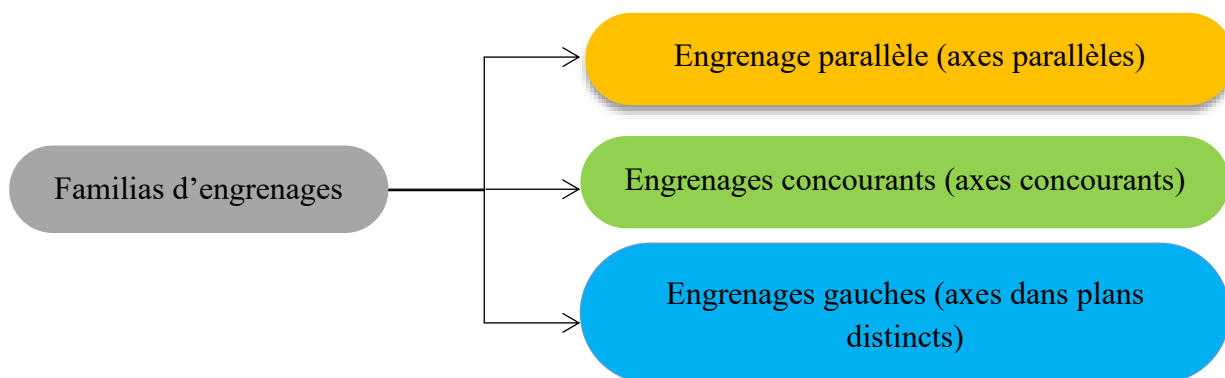
Un engrenage est un système composé de deux roues dentées en contact direct, permettant de transmettre un mouvement de rotation. Il se compose généralement d'un pignon d'entrée et d'une roue de sortie. La transmission du mouvement s'effectue avec un rendement élevé, avoisinant les 95 %.

Le rapport des vitesses angulaires entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie dépend uniquement du nombre de dents des roues en prise. Ce rapport correspond également, à un signe près, au rapport des diamètres des roues.

Les dents des engrenages sont généralement profilées selon une développante de cercle, ce qui permet au point de contact de se déplacer le long d'une ligne droite, assurant une transmission régulière. Par ailleurs, les dentures hélicoïdales sont souvent utilisées pour garantir un fonctionnement plus souple et silencieux, car plusieurs paires de dents restent constamment en contact.

### 2. Différents types d'engrenages et leurs applications

On peut classer les engrenages en trois catégories selon la position et l'orientation de leurs axes :



**Figure II.1:** Classification de types d'engrenages



**Figure II.2:** Exemples de types d'engrenages

On trouve divers types d'engrenages dans chacune de ces familles ;

### 2.1 Engrenages cylindriques à denture droite

Les engrenages cylindriques à denture droite sont parmi les types d'engrenages les plus fondamentaux. Ils se caractérisent par des dents parallèles à l'axe de rotation et sont montés sur des arbres parallèles (Voir la **Figure II.3**).

#### ➤ Caractéristiques

Ces engrenages présentent un rapport de transmission constant et sont relativement faciles à fabriquer. Leur géométrie simple en fait des candidats idéaux pour la production par fabrication additive (FA), bien que des défis subsistent concernant la précision dimensionnelle et la qualité de surface.

#### ➤ Applications

Les engrenages à denture droite sont couramment utilisés dans :

- Les boîtes de vitesses manuelles
- Les systèmes industriels où le bruit n'est pas une préoccupation majeure
- Les mécanismes d'horlogerie
- Les applications à faible vitesse et forte charge

Cependant, à haute vitesse, ces engrenages peuvent générer du bruit et des vibrations importants en raison de l'engagement instantané des dents sur toute leur longueur.

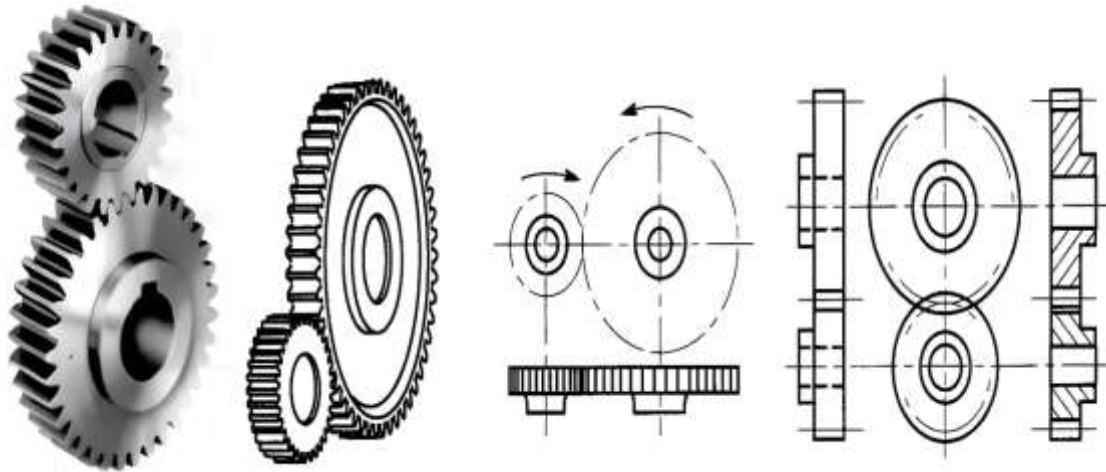


Figure II.3: Représentation des engrenages cylindriques à denture droite

## 2.2 Engrenages droits à denture hélicoïdale

Contrairement à une denture droite, l'intersection entre le cylindre primitif et le flanc d'une dent n'est pas une ligne droite mais plutôt une hélice. L'écart apparent fait référence à la distance du cercle primitif mesuré entre deux profils de dents adjacents. L'angle d'hélice  $\beta$  fait référence à l'angle formé entre la tangente de l'hélice primitive et la ligne génératrice du cercle primitif (Voir la Figure II.4).

Ainsi, on peut déduire la relation suivante entre le pas réel de la denture et le pas apparent :

$$\text{pas réel} = \text{pas apparent} \cdot \cos \beta$$

Il est à souligner que dans un système d'engrenage hélicoïdal, la roue et le pignon possèdent des hélices de directions opposées (Voir la Figure II.5).

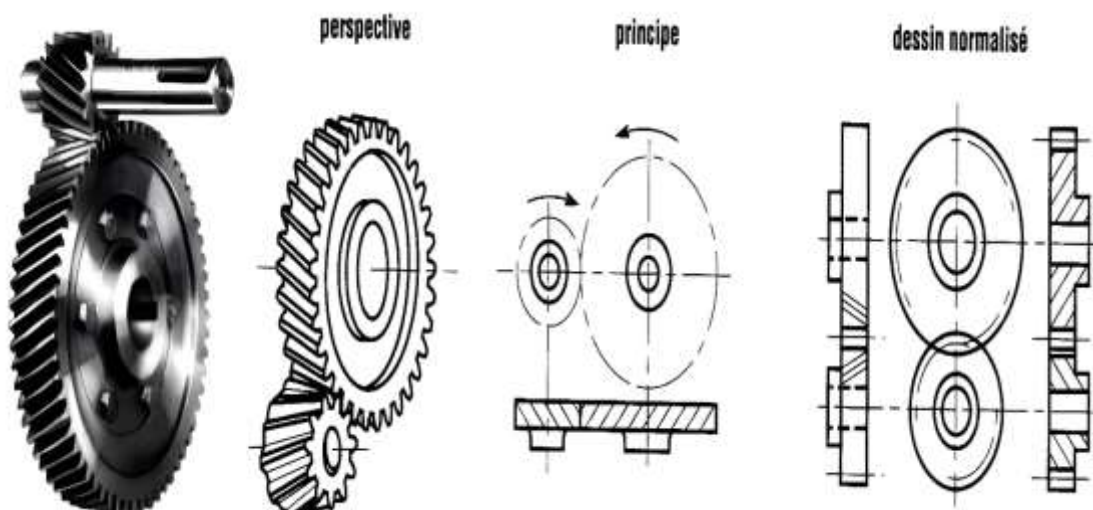
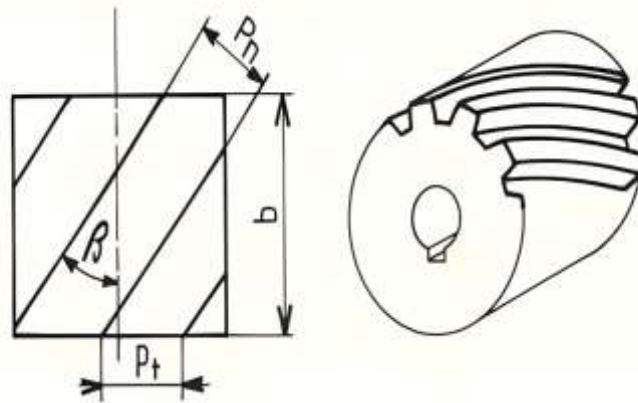


Figure II.4: Représentation des engrenages cylindriques à denture hélicoïdale



**Figure II.5 :** Engrenages cylindriques à denture hélicoïdale

### 2.3 Engrenages coniques

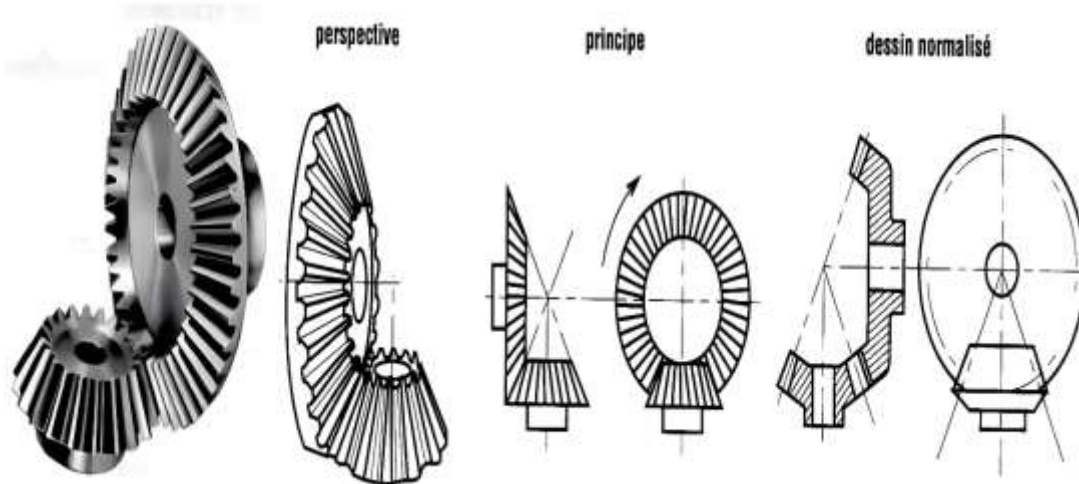
Les engrenages coniques permettent de transmettre le mouvement entre des arbres concourants, généralement à angle droit. Leurs dents possèdent une forme conique qui s'ajuste à l'orientation des axes. Il convient de souligner que ces axes pivotent dans des sens contraires. Ces pignons garantissent la transmission d'un mouvement rotatif entre deux axes qui se croisent, tout en établissant un lien entre les vitesses angulaires des axes, défini par le rapport des diamètres des cônes primitifs de ces pignons (Voir la **Figure II.6**).

#### ➤ Caractéristiques

Les engrenages coniques peuvent avoir des dents droites ou courbes (spirales). Les engrenages coniques à denture spirale offrent un engagement progressif similaire aux engrenages hélicoïdaux, résultant en un fonctionnement plus silencieux. La fabrication des engrenages coniques est plus complexe que celle des engrenages cylindriques, mais les techniques de FA permettent désormais de produire ces géométries complexes plus facilement.

#### ➤ Applications

- Les engrenages coniques sont utilisés dans :
- Les différentiels d'automobiles
- Les hélicoptères et aéronefs
- Les systèmes de direction
- Les équipements miniers
- Les applications nécessitant un changement de direction de l'axe de rotation.



**Figure II.6:** Représentation des engrenages coniques

### 2.4 Engrenages à roue et vis sans fin

Le système à roue et vis sans fin est constitué d'une vis (ressemblant à une vis mécanique) qui engrène avec une roue en forme de couronne. La vis demeure toujours l'élément moteur, car le système n'est pas réversible en raison de l'angle de la spirale et du frottement entre la roue et la vis. Dans cette transmission, la roue et la vis possèdent une hélice avec la même inclinaison (Voir la **Figure II.7**).

#### ➤ Caractéristiques

Ce type d'engrenage permet d'obtenir des rapports de réduction très élevés dans un espace compact. La vis sans fin peut entraîner la roue, mais généralement pas l'inverse (à moins d'une conception spécifique), ce qui offre une fonction d'auto-blocage utile dans certaines applications. Les systèmes à vis sans fin et roue sont exposés à des frictions considérables en raison du frottement constant entre la vis et les dents de la roue, ce qui entraîne une efficacité relativement faible et une génération de chaleur significative. Pour améliorer ce rendement, on fait appel à des roues globiques (denture creuse qui amplifie la surface de contact entre les dents et les filets) et à des matériaux ayant un bon coefficient de friction. La combinaison d'une roue en bronze et d'un couple en acier est la plus couramment employée.

#### ➤ Applications

- Les engrenages à roue et vis sans fin sont utilisés dans :
- Les systèmes de direction des automobiles
- Les ascenseurs et monte-charges
- Les instruments de mesure de précision
- Les systèmes d'ouverture/fermeture automatiques

- Les applications nécessitant un grand rapport de réduction dans un espace limité

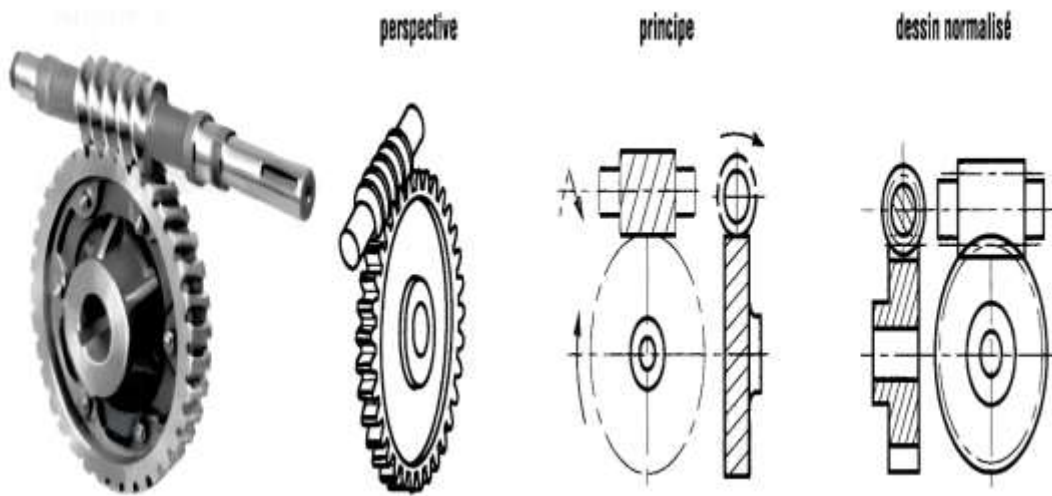


Figure II.7: Représentation des engrenages à roue et vis sans fin

### 3. Caractérisation des engrenages

#### 3.1 Les engrenages cylindriques à denture droite

Il s'agit du type de dentition le plus répandu. On l'utilise dans toutes les applications de mécanique générale. Ce dispositif permet de transmettre l'effort au maximum, néanmoins son principal inconvénient est qu'il génère du bruit.

#### 3.2 Les engrenages cylindriques à denture hélicoïdale

Les pignons à denture hélicoïdale offrent une transmission plus douce, plus graduelle et moins bruyante comparée aux pignons à dentures droites. La transmission des efforts est plus significative (nombre de dents en contact accru), même à des vitesses élevées, ils sont Notamment utilisés dans les boîtes de vitesses d'automobiles, les réducteurs et les multiplicateurs de vitesses (Voir la **Figure II.8**). Les désavantages de ce genre de mécanisme sont :

Des efforts additionnels résultent de l'angle d'hélice (force axiale sur les paliers et augmentation des efforts de flexion).

- Performance légèrement inférieure.
- Non utilisable en configuration « baladeur » (ces engrenages doivent maintenir un contact constant).



Figure II.8 : Pignons à denture hélicoïdale



### 3.3 Les engrenages coniques

Ces engrenages ne comportent pas des roues cylindriques, mais plutôt des cônes. On trouve des pignons coniques à denture droite ainsi que des pignons coniques à denture oblique et à dents spiralées. Ces rouages sont utilisés pour assurer la transmission de la rotation entre des arbres dont les axes se croisent (Voir la **Figure II.9**).

avec un rapport de vitesse strict. On privilégie généralement ceux qui ont des dents en spirale, c'est-à-dire dont la forme rappelle un arc de cercle, en raison de leur fonctionnement plus silencieux.



**Figure II.9 :** Engrenages coniques

### 3.4 Les engrenages gauches : le système roue - vis sans fin

La vis sans fin se compose d'un cylindre allongé et étroit, qui possède une denture hélicoïdale ininterrompue, semblable au filetage d'une vis cylindrique, et qui s'engage avec une roue à denture hélicoïdale. Les rouages à vis sans fin se distinguent des rouages à roues dentées hélicoïdales (Voir la **Figure II.10** ).

Effectivement, les dents de la vis sans fin s'imbriquent constamment en glissant sur celles de la roue conduite, mais n'exercent pas directement un effort rotatif sur elles. Les vis sans fin sont principalement utilisées pour transmettre une rotation avec une réduction de vitesse importante entre deux axes orthogonaux.



**Figure II.10 :** Engrenage à vis sans fin

### 4. Paramètres des engrenages

Les caractéristiques de conception d'un pignon sont des attributs techniques cruciaux pour l'efficacité et la durabilité d'un pignon mécanique. Voici les éléments fondamentaux à considérer pour une conception efficace des rouages :

#### 4.1 Forme d'engrenage

Les pignons mécaniques sont généralement de forme cylindrique, présentant des dents soigneusement réparties sur leur surface. On trouve des engrenages sous les formes elliptiques, coniques, triangulaires et carrées. Les systèmes d'engrenages non circulaires se distinguent des systèmes d'engrenages circulaires en ce qu'ils ne présentent pas de ratio constant pour la vitesse de rotation et le couple. Les engrenages non circulaires peuvent satisfaire à des besoins spécifiques de mouvement irrégulier, tels que la marche arrière et la modification de la vitesse.

#### 4.2 Angle de torsion

L'angle de torsion désigne l'inclinaison des dents de l'engrenage par rapport à l'axe du cylindre. Un accroissement de l'angle de torsion de l'engrenage conduit à une direction de poussée plus significative. Pour minimiser la poussée des engrenages hélicoïdaux, il est préférable d'utiliser des angles de torsion inférieurs à 25 degrés.

#### 4.3 Nombre de dents

Les dents font référence aux surfaces acérées ou effilées situées à l'extérieur du périmètre de l'engrenage. L'établissement des dimensions d'un engrenage repose sur le nombre de dents et diverses autres variables comme l'angle de pression et la valeur des modules. Par ailleurs, le nombre de dents dans un modèle d'engrenage est crucial pour déterminer la vitesse de transmission (ratio de démultiplication) en utilisant l'équation suivante :

$$\text{Nombre de dents du pignon d'entrée} / \text{Nombre de dents du pignon de sortie}$$

#### 4.4 Direction de la torsion

Un mécanisme est gaucher s'il possède des dents du côté gauche, alors qu'il est droitier s'il a des dents à droite. Pour que la transmission de puissance soit possible entre deux engrenages coniques ou hélicoïdaux, il est nécessaire que les deux engrenages soient en rotation inverse l'un par rapport à l'autre. Par exemple, deux roues dentées hélicoïdales dont les dents se déplacent en sens opposé ne s'engrèneront pas. Néanmoins, les rouages à vis et à vis sans fin s'engrènent facilement malgré leur nature unidirectionnelle.



### 4.5 Configuration des axes d'engrenage

Il existe trois variantes de configurations d'axes d'engrenages : parallèle, non parallèle (sans intersection) et intersection. Les rouages mécaniques à disposition d'axes parallèles conservent une orientation parallèle avec des axes qui tournent en direction inverse. Cependant, les engrenages dont les axes ne sont pas parallèles s'entrecroisent sur des plans distincts, tandis que les engrenages qui se croisent le font sur un même plan. Par ailleurs, les agencements d'engrenages parallèles et croisés offrent une vitesse et une efficacité qui surpassent celles des engrenages non parallèles.

### 4.6 Module

Le module représente la dimension d'une dent de pignon exprimée en millimètres. Par conséquent, le module précise la dimension des dents de l'engrenage. Il est essentiel de considérer ce facteur lors du processus d'engrenage. Le module correspond à la valeur issue du calcul du diamètre primitif divisé par le nombre de dents d'un pignon. L'expression est illustrée de la manière suivante :

$$\text{Module} = \text{Diamètre primitif} / \text{Nombre de dents}$$

## 5. Méthodes de fabrication des engrenages

### 5.1 Les matériaux utilisés dans la fabrication des engrenages

Les engrenages peuvent être fabriqués à partir d'une grande variété de matériaux, sans restriction particulière. Historiquement, les premiers engrenages étaient en bois, mais aujourd'hui, leur composition varie en fonction de l'application. On trouve ainsi des engrenages massifs en acier ou en fer dans l'industrie lourde, mais aussi de petits engrenages en plastique dans les mécanismes de jouets. Les possibilités de combinaisons sont quasiment infinies.

Cependant, certains matériaux se distinguent par leur utilisation fréquente dans la fabrication d'engrenages :

- Fonte : Robuste et économique, elle offre une bonne résistance à l'usure, ce qui la rend idéale pour des applications à vitesse faible ou moyenne.
- Acier : Apprécié pour sa haute résistance mécanique et son excellente durabilité, il supporte des charges et des vitesses élevées. On le retrouve notamment dans les secteurs exigeants comme l'automobile et l'aérospatiale.
- Bronze : Particulièrement résistant à la corrosion et à l'usure, ce matériau est souvent utilisé dans des environnements difficiles, comme les applications marines ou les milieux à haute température.
- Plastiques : Léger et peu coûteux, le plastique convient parfaitement aux mécanismes soumis à des charges légères, comme ceux des appareils électroniques ou des jouets.

## CHAPITRE II: Engrenages et méthodes de fabrication

Le choix du matériau dépend donc des contraintes mécaniques, environnementales et économiques de chaque application.

### 5.2 Procédés de fabrication et de taillage d'engrenages : avantages et limites

La fabrication d'engrenages fait appel à différentes techniques, chacune adaptée à des besoins spécifiques en termes de précision, de coût et d'application. Voici une analyse des méthodes les plus courantes (Voir la **Tableau II.1**).

<i>Procédé</i>	<b>Principe</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>	<b>Types/Méthodes</b>
<b><i>Moulage</i></b>	Utilisé pour produire des ébauches ou directement des engrenages, notamment pour la production de masse ou les très grandes dimensions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Idéal pour les engrenages de gros diamètre</li> <li>• Coût réduit pour les grandes séries</li> <li>• Adapté aux engrenages droits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Précision limitée</li> <li>• Propriétés mécaniques inférieures</li> <li>• Nécessite souvent un usinage complémentaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moulage en coquille</li> <li>• Moulage sous pression</li> <li>• Moulage au sable</li> <li>• Moulage en moule permanent</li> </ul>
<b><i>Forgeage</i></b>	Compression du métal à chaud pour former des engrenages robustes destinés aux applications lourdes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excellente résistance à la fatigue</li> <li>• Adapté aux engrenages simples et de taille moyenne (6 à 10 pieds)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forces mécaniques élevées requises</li> <li>• Peut nécessiter un usinage final</li> <li>• Limitant la finesse et la taille</li> </ul>	—
<b><i>Extrusion et étirage à froid</i></b>	<p><b>Extrusion :</b> Pousse une billette chauffée à travers une matrice</p> <p><b>Étirage à froid :</b> Tire une billette à température ambiante</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surface lisse et durcie</li> <li>• Bon pour les profils complexes</li> <li>• Améliore les propriétés mécaniques (étirage)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût élevé pour l'étirage à froid</li> <li>• Limité aux sections relativement simples</li> </ul>	—
<b><i>Métallurgie des poudres</i></b>	Compression de poudre métallique suivie d'un frittage pour obtenir la forme finale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande précision</li> <li>• Pas besoin d'usinage supplémentaire</li> <li>• Économique pour les grandes séries</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible résistance aux charges lourdes</li> <li>• Coût initial élevé</li> <li>• Peu adapté aux petites productions</li> </ul>	—
<b><i>Découpage (Obturation)</i></b>	Utilisation de tôles découpées pour former des engrenages légers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapide et économique pour les petites pièces</li> <li>• Idéal pour les engrenages droits et faibles charges</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limité aux applications peu exigeantes</li> <li>• Pas adapté aux engrenages complexes</li> </ul>	Applications: équipement bureautique, dispositifs médicaux

**Tableau II.1:** Procédés de Fabrication et de Taillage d'Engrenages

### Usinage des engrenages

L'usinage reste la méthode la plus polyvalente, surtout avec l'avènement du CNC.

Méthodes courantes :

<i>Méthode d'usinage</i>	Description	Caractéristiques
<i>Taillage</i>	Utilise une fraise conique pour engrenages droits ou hélicoïdaux	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rapide</li><li>• Requiert une grande précision</li></ul>
<i>Façonnage</i>	Permet des engrenages internes ou en grappe	<ul style="list-style-type: none"><li>• Plus flexible que le taillage</li></ul>
<i>Brochage</i>	Méthode ultra-rapide pour engrenages internes	<ul style="list-style-type: none"><li>• Outil multi-dents</li><li>• Finition précise</li></ul>
<i>Fraisage</i>	Réalisable sur CNC	<ul style="list-style-type: none"><li>• Moins précis que d'autres méthodes</li><li>• En déclin face à des techniques plus efficaces</li></ul>

**Tableau II.2:** Méthodes d'Usinage des Engrenages

**Chapitre III**

**Description du logiciel de  
fabrication SINUMERIK  
840D**

### 1. Introduction

Le programme EMCO WinNC SINUMERIK 840 D Fraisage s'inscrit dans la démarche pédagogique d'EMCO qui se base sur l'utilisation d'un ordinateur. Ce concept doit faciliter l'apprentissage de la programmation et de l'utilisation d'un contrôle de machine sur ordinateur.

Avec EMCO WinNC pour les fraiseuses EMCO MILL, il est possible de contrôler directement les fraiseuses EMCO PC MILL et CONCEPT MILL via l'ordinateur.

Le maniement est considérablement facilité grâce à l'emploi d'une tablette graphique ou d'un clavier de commande (accessoire), et le fonctionnement qui se rapproche de la commande originale renforce la valeur pédagogique du système.

Pour compléter la présentation du logiciel et de la machine, fournie avec celle-ci, les documents pédagogiques suivants sont actuellement en préparation : CD-ROM pédagogique « WinTutorial » (Illustrations, Mode d'emploi, Description des commandes)

Ces directives englobent l'intégralité des fonctionnalités du logiciel de contrôle SINUMERIK 840 D. Par ailleurs, les fonctionnalités principales sont exposées de manière simple et claire afin de rendre l'apprentissage aussi aisé que possible.

### 2. Fondements

#### 2.1 Références pour les fraiseuses EMCO

##### **M = Provenance de la machine :**

C'est un élément fixe, déterminé par le constructeur de la machine. On évalue l'ensemble de l'appareil à partir de ce moment-là. « M » sert à la fois de point de départ au système de coordonnées.

##### **R = Point de référence :**

C'est une position au sein du volume d'usinage qui est précisément déterminée par des interrupteurs de fin de course. Quand les chariots atteignent le point « R », leurs emplacements sont transmis à la centrale de contrôle. Il est indispensable de faire cela après chaque coupure de courant (Voir la **Figure III.1** ).

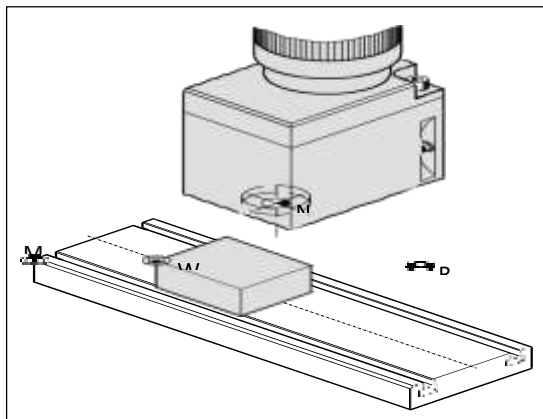
##### **N = Référence pour l'emplacement du logement de l'instrument :**

C'est le point de référence pour l'évaluation des outils. Le point « N » est situé de manière appropriée dans le système de porte-outil et il est déterminé par le constructeur de l'équipement.

##### **W=Provenance de l'article:**

C'est le point de référence pour les instructions de cotation dans le programme de pièce.

Ce point peut être défini à la discrétion du programmeur et peut être positionné où bon lui semble dans un programme de pièce.



**Figure III.1 :** Points de référence dans le volume d'usinage.

### 2.2 Point de référence:

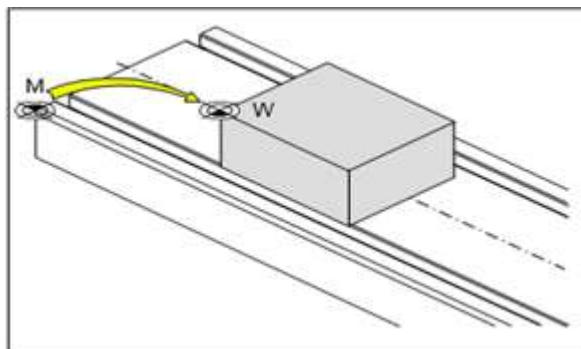
Dans les fraiseuses EMCO, l'origine de la machine est située sur le bord avant gauche de la table. Ce n'est pas une position appropriée pour commencer la programmation. Avec le décalage initial, il est possible de repositionner le système de coordonnées à un emplacement adéquat dans le volume d'usinage de l'équipement.

Au sein du groupe fonctionnel Décalage d'origine, nous avons à notre disposition quatre décalages d'origine ajustables.

Une fois que vous spécifiez une valeur pour ce décalage dans les données de configuration, cette valeur est considérée lors de l'exécution du programme (avec G54-G57) et le point d'origine des coordonnées « M » est déplacé vers la droite de cette valeur à l'origine de la pièce « W ». (Voir la **Figure III.2**)

Dans un programme de pièce, l'emplacement de la pièce peut être ajusté aussi fréquemment que nécessaire.

Pour plus d'informations à ce sujet, veuillez consulter la description des ordres.



**Figure III.2 :** Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W.

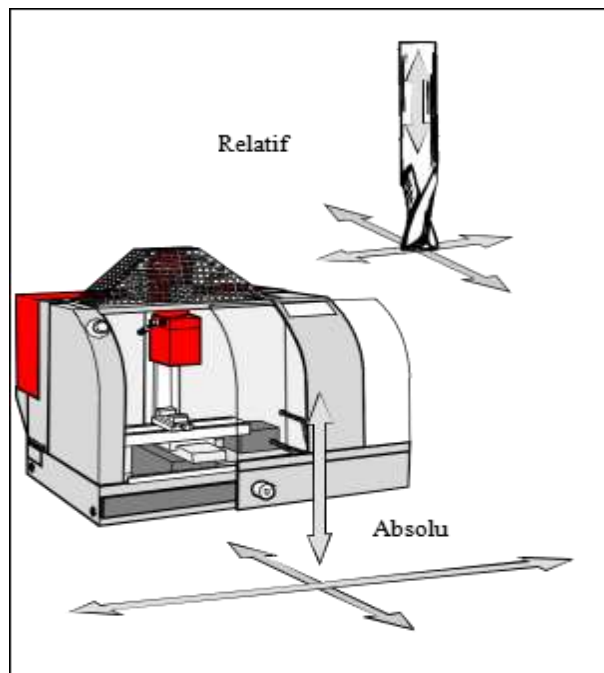
### 2.3 Système de coordonnées :

La coordonnée X est alignée avec le bord avant de la table de la machine, la coordonnée Y suit le bord latéral de la table de la machine, et la coordonnée Z est à angle droit par rapport à la table de la machine.

Les indications de coordonnées Z négatives illustrent les déplacements du système d'outil vers la pièce, tandis que les indications positives signalent les mouvements dans le sens inverse de la pièce.

#### 2.3.1 Système de coordonnées absolu en programmation :

Ce système repose sur un point de référence fixe, correspondant soit à l'origine machine (notée "M"), soit à une origine décalée par programmation, définie comme référence de la pièce (notée "W"). Les coordonnées cibles (X, Y, Z) sont calculées en mesurant les distances depuis ce point d'origine fixe, garantissant un positionnement précis dans l'espace tridimensionnel (Voir la **Figure III.3** ).



**Figure III.3** : Les coordonnées absolues et les coordonnées relatives à la position de l'outil

#### 2.3.2 Système de coordonnées relatif en programmation

Le point de référence est ici dynamique : il correspond soit au logement de l'outil (noté "N"), soit à l'extrémité active de l'outil après son activation. Ce mode décrit les

déplacements réels de l'outil entre les positions successives, plutôt que de se baser sur une origine fixe. Il est particulièrement adapté aux opérations nécessitant des ajustements en temps réel.

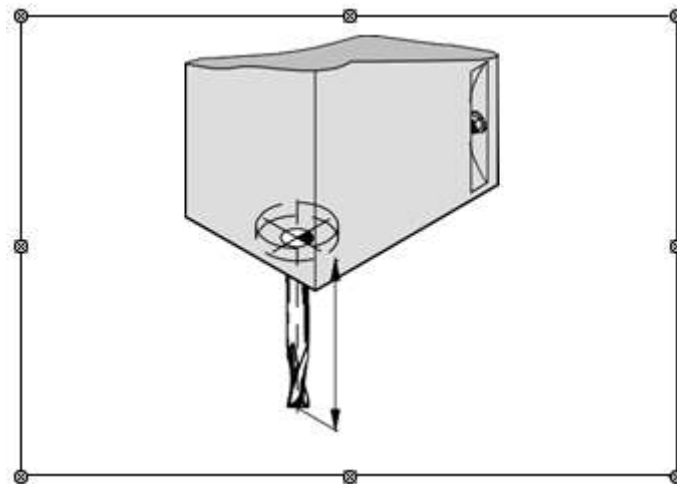
### 3. Saisie des données d'outil

Cette saisie des données d'outil est nécessaire pour que le logiciel utilise la pointe de l'outil ou le centre de l'outil pour le positionnement, et non le point de référence du logement de l'outil (Voir la **Figure III.4**).

Chaque outil utilisé pour l'usinage doit être mesuré. Il s'agit ici de calculer l'écart entre le point de référence du logement de l'outil "N" et la pointe respective de l'outil.

Dans la mémoire des données d'outil, on peut mesurer :

- les corrections de longueur mesurées,
- le rayon et la position de la pointe.
- Indication du rayon de la fraise
- La mention du rayon n'est requise que si la fonction de compensation de rayon est activée pour l'outil concerné



**Figure III.4 :** Correction de longueur

Configuration pour G17 (plan XY actif)

Dans ce cas :

L1 : Représente le décalage axial absolu en Z depuis le point de référence "N".

R : Correspond au rayon effectif de la fraise.

*Remarque :* Pour les autres plans (G18/G19), l'axe L1 est automatiquement associé à la



direction perpendiculaire au plan sélectionné. Cette description couvre le scénario standard G17.

### 4. Description des touches

#### 4.1 Clavier de commande, tablette graphique

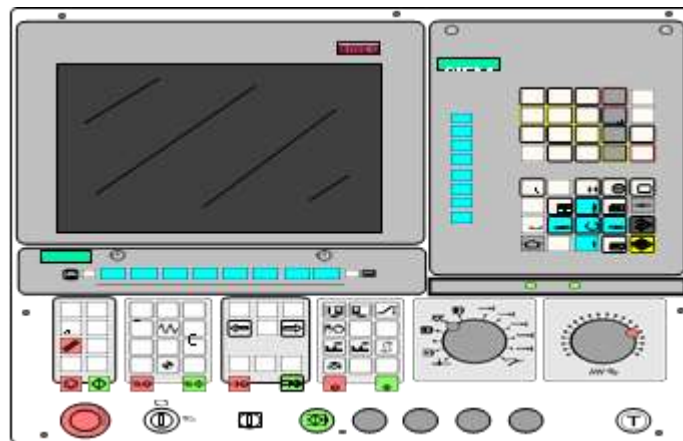


Figure III.5 : Clavier de commande

#### 4.2 Fonctionnalité multifonction de la touche Shift

La touche Shift offre des modes d'activation hiérarchisés selon le nombre d'appuis :

Appui simple (Shift ×1) :

Active la fonction secondaire uniquement pour la touche suivante.

Retour automatique à la fonction primaire après exécution.

Double appui (Shift ×2) :

Verrouille la fonction secondaire pour toutes les touches suivantes (mode permanent).

Triple appui (Shift ×3) :

Inverse temporairement le comportement :

La fonction primaire s'applique à la touche suivante.

Les entrées ultérieures repassent en fonction secondaire.

Quadruple appui (Shift ×4) :

Réinitialise les modes ×2 et ×3, rétablissant le fonctionnement standard.

### 4.3 Pavé numérique et fonctions d'adressage

Le pavé numérique intègre une double fonctionnalité contrôlée par la touche Shift :

- **Fonction secondaire (activation via Shift) :**

La touche Shift, située en bas à gauche du pavé, permet d'accéder aux commandes secondaires indiquées en petit dans le coin supérieur gauche de chaque touche.

Feuilleter en arrière



Virgule



(Voir la **Figure III.6**)



**Figure III.6 : Bloc des adresses/Numérique**

### 4.4 Touche de

pavée :



" Saut direct dans le groupe fonctionnel de la machine."



"Retour au menu de niveau supérieur."



"Extension de la barre horizontale des touches de fonction reconfigurables dans le même menu."



"Afficher le menu principal (Sélection Groupes fonctionnels) En appuyant de nouveau, retour à la zone précédente."



"Acquitter l'alarme."



"Appeler des informations sur l'état de commande actuel - ne fonctionne que si "i" est affiché dans la ligne de dialogue."







"Sélectionner une fenêtre (si plusieurs fenêtres sont sur l'écran). Les

- entrées par touche ne concernant que la fenêtre sélectionnée."
- "Curseur vers le bas/haut "
- "Curseur vers la gauche/droite Feuilletter en arrière/en avant "
- "Caractère blanc"
- "Effacer (Back pace)"
- "Touche de sélection / Touche Toggle"
- II "Touche de sélection pour valeurs définies dans les champs d'entrée et listes de sélection, marquées par ce symbole"
- III "Activer/désactiver un champ de sélection"
- ☒ ☒ = "actif"
- ☐ ☐ = "non actif"
- "Touche d'édition / annulation (Undo)"
- IV "Commutation au mode d'édition dans des tableaux et champs d'entrée"
- V "Fonction Undo sur éléments de tableau et champs d'entrée (Lorsqu'on quitte un champ avec cette touche, la valeur n'est pas mémorisée la valeur précédente est appliquée de nouveau)."
- "Saut à la fin de la ligne (Fin de liste)"
- "Touche d'entrée"
- VI "Reprise d'une valeur éditée"
- VII "Ouvrir / fermer un répertoire"
- VIII Ouvrir un fichier

### 4.5 Configuration de l'écran :



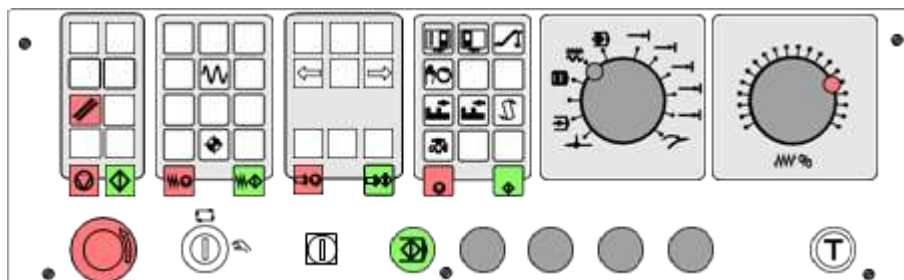
Figure III.7 : Configuration de l'interface de l'instrument de mesure

- 1- Affichage du groupe fonctionnel actif
- 2- Affichage du canal actif
- 3- Mode de fonctionnement. En cas de sous-mode de fonctionnement, ce dernier est aussi affiché (par ex. REF, INC)
- 4- Chemin et nom du programme sélectionné.
- 5- Etat du canal.
- 6- Messages de commande du canal
- 7- Etat du programme
- 8- Affichage de l'état du canal (SKIP, DRY, SBL,...)
- 9- Ligne d'alarme et de message 
- 10- Fenêtre de travail, affichage CN les fenêtres de travail, disponible dans la zone sélectionnées et les affichages CN sont visibles ici.
- 11- La fenêtre sélectionnée est marquée par un cadre et l'en tête de cette fenêtre est visualisés à l'envers ; les entrées du tableau de commande sont actives ici.
- 12- Touche de fonction reconfigurable verticales dans ces 8 zone est affichée la fonction des touches se trouvant à côté.
- 13- Si ce système est affiché, la touche  est active.
- 14- Ligne de dialogue avec remarque utilisateur.
- 15- Si le symbole est affiché la touche  est active.
- 16- Touche de fonction reconfigurable horizontale.
- 17- Si ce symbole est affiché cette touche est active  (Voir la **Figure III.7**)

### 4.6 Touches de commande de la machine :


























Les touches de commande de la machine se trouvent à la partie inférieure du clavier de commande et de la tablette graphique (Voir la **Figure III.8**).

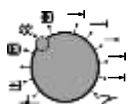
Toutes les fonctions ne sont pas actives; ceci dépend de la machine et des accessoires utilisés.



**Figure III.8:** Tableau de commande machine de la série EMCO Concept-Mill

### 4.7 Description des touches :

	SKIP (Les séquences optionnelles ne sont pas exécutées).
	DRY RUN (Marche d'essai des programmes).
	Mode pièce par pièce.
	OPT STOP (Arrêt du programme avec M01).
	RESET.
	Séquence individuelle.
	Arrêt programme / Démarrage programme.
	Mouvement d'axe manuel.
	Vitesse rapide.
	Points de référence avancent dans tous les axes.
	Arrêt avance / Démarrage avance.
	Correction de la broche plus faible/100%/plus grand.
	Arrêt broche / Démarrage broche; démarrage de broche dans les modes
	JOG et INC1..INC10000: Marche à droite : Presser brièvement 
	. Marche à gauche : Presser 
	au moins 1 sec.
	Touche de validation
	Ouverture / fermeture porte
	Pivoter appareil diviseur
	Ouverture/fermeture organe de serrage
	Pivoter le porte-outil
	Arrosage/Soufflerie EN/HORS
	AUX OFF / AUX ON (Entraînements auxiliaires EN/HORS)



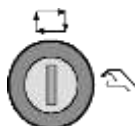
Commutateur-sélecteur des modes de fonctionnement (voir description de machine)



Commutateur de correction d'avance/de marche rapide



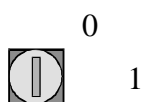
Coup-de-poing ARRET D'URGENCE (Tourner le bouton)



Commutateur à clé spécial (voir description de machine)



Touche de démarrage NC complémentaire



0

1

Sans fonction

Les Les touches qui sont encadrées représentent des fonctions spéciales pour le contrôle et la machine.

Pour activer les fonctionnalités des touches hachurées, il est nécessaire de presser simultanément la touche Ctrl et Alt.

En utilisant la touche F10, les groupes fonctionnels (machine, paramètres, etc.) apparaissent sur la barre horizontale des touches configurables. En utilisant Shift F10, les modes opérationnels (AUTOMATIC, JOG...) sont présentés sur la barre verticale des touches configurables. La touche ESC est utilisée pour acquitter certaines alarmes.

L'association de touches Strg 2 est modifiée selon la machine : MILL 55 : Soufflerie EN/HORS MILL 125/155 : Arrosage EN/HORS

## 5. Fonctionnement

### 5.1 Principe de fonctionnement



La commande du SINUMERIK 840D est divisée en six menus ou groupes fonctionnels :

- 1 Machine
- 2 Paramètres

- 3 Programme
- 4 Services
- 5 Diagnose
- 6 Mise en service

Ces six groupes fonctionnels sont affichés dans le menu de base à la barre horizontale des touches de fonction reconfigurables.

### 5.2 Appeler le menu de base

Lorsqu'on appuie sur la touche , les groupes Fonctionnels sont visualisés dans le menu de base sur la barre  horizontale des touches reconfigurables. Au moyen de cette touche, vous pouvez passer au menu de base depuis tout autre menu.

Lorsque vous actionnez de nouveau cette touche, vous revenez au menu précédent.

### 5.3 Navigation dans la fenêtre de menu



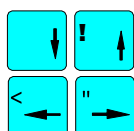
Changer la fenêtre de menu Avec cette touche, vous pouvez changer la

Fenêtre active (la fenêtre active est marquée par un cadre de couleur).

Des entrées ne peuvent être faites que dans la fenêtre active.



Naviguer dans la fenêtre de menu Fait défiler les pages sur l'écran en avant et en arrière.



Positionner le curseur dans la fenêtre de menu.

### 5.4 Navigation dans l'arbre des répertoires



Sélectionner un répertoire / un fichier







Ouvrir / fermer un répertoire Ouvrir et refermer le répertoire sélectionné.

Ouvrir un fichier Ouvrir le fichier voulu qui doit être édité dans l'éditeur.

### 5.5 Editer des entrées / des valeurs



Avec cette touche, vous pouvez activer / désactiver des radios buttons ou des switch boxes.

  = actif  
  = non actif

Zones d'entrée




Commutation au mode d'entrée.

Entrez la valeur ou le nom (par ex. nom du fichier) par le clavier alphanumérique.

Vous passez automatiquement au mode d'entrée lorsque vous positionnez auparavant le curseur sur le champ d'entrée.



Confirmez votre entrée avec la touche "Input". La valeur est reprise.

Avec la touche,  vous pouvez commuter entre des valeurs définies (par ex. en avant - en arrière).

### 5.6 Confirmer / Interrompre des données

OK

Confirmer des entrées

Sauvegarder les entrées et quitter le menu actuel (retour au menu précédent).

ABANDON

Interrompre des entrées

Abandonner des entrées et quitter le menu actuel (retour au menu précédent)



Abandonner des entrées et quitter le menu actuel (il y a retour automatique d'un niveau en arrière).




Effacer les données actuelles et ne pas quitter le menu actuel.

### 5.7 Commande par la souris

Cliquer 1 fois signifie : Activer la fenêtre de menu Placer le curseur sur le champ d'entrée voulu Sélectionner un répertoire Appuyer sur une touche de fonction reconfigurable Activer / désactiver un champ de sélection Activer une zone d'entrée Ouvrir la liste de sélection.

Un double clic signifie : Sélection de liste



Reprendre une valeur / une entrée Ouvrir un répertoire Poussoir droit de la souris :  
Visualiser les groupes fonctionnels. 

### 6. Aperçu des groupes fonctionnels

Les différentes fonctions sont regroupées dans la Commande dans les groupes fonctionnels suivants :


Groupes Fonctionnels	Fonctions
Paramètre	Exécution d'un programme pièce, commande manuelle
Programme	Création et adaptation de programmes pièce
Services	Entrée et sortie de programmes et données
Diagnostic	Affichages d'alarmes Affichages de services
Mise en service	Adaptation des données CN à la machine Réglage système




**Tableau III.1:** Groupes fonctionnelles


#### 6.1 Groupe fonctionnel Machine


Le groupe fonctionnel Machine comprend toutes les fonctions et grandeurs, permettant des actions sur la machine et de saisir son état.


Il y a trois modes de fonctionnement :

JOG  Jog sert au mode manuel et au réglage de la machine.

Pour le réglage, il y a les fonctions suivantes:   

 Accoster le point de référence (Réf) Repositionner (Repos) Définir le pas


MDA  Mode semi-automatique On peut créer et exécuter des programmes de pièce, séquence par séquence.

AUTOMATIC  Mode entièrement automatique Exécution entièrement automatique de programmes de pièce.


On sélectionne, démarre, corrige, influence (par ex. séquence par séquence) ici les programmes de pièce.


Ces modes de fonctionnement peuvent être sélectionnés par les touches de fonction reconfigurables (clavier du PC) ou avec le commutateur des modes de fonctionnement.

### 6.2 Accoster le point de référence

En accostant le point de référence, vous synchronisez la commande avec la machine. 

Passez au mode de fonctionnement REF (ou Alt+F8 sur le PC).

Actionnez les touches directionnelles  ou

Pour accoster le point de référence dans  l'axe respectif; idem pour Y et tous les autres axes.



Tous les axes sont accostés automatiquement avec la touche (clavier du PC).

#### *Risque de collision :*

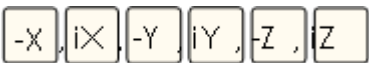
Faire attention aux obstacles pouvant se trouver dans le volume d'usinage (organes de serrage, pièces fixées etc.).

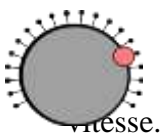
Lorsque le point de référence est atteint, sa position est affichée sur l'écran comme position réelle. La commande est maintenant synchronisée avec la machine.

### 6.3 Déplacement manuel des chariots



Vous pouvez déplacer les axes de la machine manuellement avec les touches directionnelles.

Passez au mode de fonctionnement JOG (ou Alt+F1 sur le PC). 

Avec les touches , Les axes sont déplacés dans la direction correspondante tant que la touche est pressée.



La vitesse d'avance est réglée par le commutateur d'intervention sur la

Si la touche  est pressée simultanément,  les chariots se déplacent en avance rapide.

### 6.4 Déplacement des chariots par pas

Vous pouvez déplacer les axes de la machine par les touches directionnelles.



INC 1          1/1000 mm par pression sur la touche

INC 10        1/100 mm par pression

INC 100      1/10 mm par pression

INC 1000    1 mm par pression

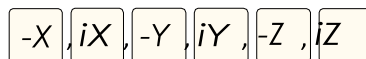
INC VAR      Incrément de jog variable

Passez au mode de fonctionnement INC  

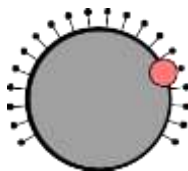
( ... ou Alt+0 ... Alt+4 sur le PC).

(Alt 0..10<sup>0</sup>=1, Alt 1..10<sup>1</sup>=10, Alt 2..10<sup>2</sup>=100, ...)


Avec les touche



Les axes sont déplacés dans la direction correspondante du pas réglé à chaque pression sur la touche.



La vitesse d'avance est réglée par le commutateur  
l'intervention sur la vitesse.


Si la touche  est pressée simultanément, les chariots se déplacent en avance rapide.



### 6.5 Mode de fonctionnement MDA

Dans le mode de fonctionnement MDA (Manuel Data Automatique), vous pouvez créer des programmes de pièce séquence par séquence et les exécuter.

Pour ce faire, vous pouvez entrer les mouvements voulus dans la commande par le clavier de commande sous forme de blocs individuels de programme de pièce.

La commande exécute les blocs entrés après actionnement de la touche. 

Pour un déroulement du programme dans le mode MDA, les mêmes conditions sont nécessaires que pour le mode entièrement automatique.

### 6.6 Décalage d'origine

#### 6.6.1 Modifier le décalage d'origine réglable (G54 - G57):

Décalage grossier :

Dans la plupart des cas, cette valeur est protégée sur les machines-outils par un commutateur à clé contre une modification non autorisée. Décalage fin :

Sert au réglage fin du décalage grossier (par ex. correction d'usure) et n'est pas protégé contre les modifications. La valeur d'entrée pour le décalage fin est limitée à  $\pm 1$ .

Le décalage d'origine réglable opérant est la somme du décalage grossier et du décalage fin.

#### 6.6.2 Modifier le décalage d'origine de base :

Le décalage d'origine de base est un décalage d'origine qui est opérant en permanence (sans appel particulier).

Avec le décalage de base, on saisit par ex. des tables intermédiaires sur des fraiseuses ou des brides intermédiaires sur des tours.

Le décalage de base réglable opérant est la somme du décalage grossier et du décalage fin.

##### ➤ Rotation, échelle, inversion :

Définition comme dans la programmation des Frames. Une rotation n'est possible qu'autour de l'axe géométrique.

##### ➤ Sélectionnez le décalage de base :

Appuyez sur les touches reconfigurables. APERCU et DO base.

Aperçu

DO

L'entrée du décalage d.e base se fait comme avec le décalage d'origine réglable.

### ➤ **Décalage d'origine total opérant :**

Le décalage d'origine total opérant dans un programme de pièce est la somme du décalage de base + décalage réglable G54-G599 + Frames.

$$\text{Décalage d'origine total} = \text{Base} + \text{G54-G599} + \text{Frames}$$

## **7. Groupe fonctionnel Programme**

Dans ce groupe fonctionnel, vous pouvez créer et adapter des programmes de pièce et gérer les programmes.

### **7.1 Types de programme**

#### ➤ **Programme de pièce**

Un programme de pièce est une suite d'instructions pour exécuter une pièce.

#### ➤ **Sous-programme**

Un sous-programme est une suite d'instructions d'un programme de pièce qui peut être appelée plusieurs fois avec différents paramètres de transfert.

Les cycles sont une forme de sous-programmes.

#### ➤ **Pièce**

Dans ce contexte, une pièce est un répertoire dans lequel des programmes ou d'autres données sont déposés.

#### ➤ **Cycles**

Des cycles sont des sous-programmes pour l'exécution d'une opération d'usinage répétée sur la pièce.

Les cycles standards préprogrammés ne peuvent pas être modifiés.

Des cycles utilisateur peuvent être créés et modifiés à loisir par l'utilisateur.

### 7.2 Gestion du programme

#### 7.2.1 Types de fichier et de répertoire :

**name.MPF**      Programme **principal**

**name.SPF**      Sous-programme

**name.TOA**      Paramètres d'outil

**name.UFR**      Décalages d'origine /

**Frame name.INI**    Fichier d'initialisation

**name.COM**    Commentaire

**name.DEF**    Définition pour données d'utilisateur globales et macros

**Name. IR** Répertoire général - comprend des programmes, répertoires de pièce et d'autres répertoires avec extension

**.DIR.**

Les noms de ces répertoires (MPF.DIR, DPF.DIR, CLIP.DIR, ...)

Sont attribués de manière fixe et ne peuvent pas être modifiés.


**name.WPD** Répertoire de pièce - comprend les modules de programme et de données, appartenant à une pièce (il ne doit pas contenir d'autre répertoire avec extension .DIR ou .WPD).

**name.CLP** Répertoire presse-papiers tous les types de fichier et de répertoire peuvent y être créés.

#### 7.2.2 Copier / Insérer :

Positionnez le curseur sur le fichier que vous voulez copier et appuyez sur la touche reconf. COPIER. Le fichier est marqué comme source pour la copie.

Ouvrez maintenant le répertoire dans lequel vous voulez copier le fichier marqué et appuyez sur la touche reconfigurable. INSERER.

Lors de l'insertion dans un répertoire de pièce, le type de fichier peut être modifié avec la touche  .


Si le nom du fichier source et le nom du fichier copié sont identiques, appuyez sur la touche reconfigurable. OK. Si le fichier copié doit recevoir un nouveau nom, donnez le nouveau nom avec le clavier et appuyez sur la touche OK.


### 7.2.3 Renommer :

Positionnez le curseur sur le fichier que vous voulez renommer et appuyez sur la touche reconfigurable. RENOMMER.

La boîte de dialogue pour renommer s'ouvre. Entrez le nouveau nom.

En renommant une pièce, le type de fichier peut être.

Modifié avec la touche .

- Effacer Positionnez le curseur sur le fichier que vous voulez effacer.
- Si vous voulez marquer plusieurs fichiers, placez le curseur sur le premier fichier, appuyez sur la touche .
- Et positionnez le curseur sur le dernier fichier.
- Appuyez sur la touche reconfigurable. EFFACER.
- Lorsque vous confirmez la question de sécurité avec OK, les fichiers / répertoires marqués sont effacés.
- On ne peut effacer que des programmes qui ne sont pas en cours d'exécution.
- Si un répertoire de pièce doit être effacé, il ne faut pas sélectionner de programme dans ce répertoire de pièce.
- Si un répertoire de pièce est effacé, tous les fichiers dans ce répertoire sont aussi effacés.

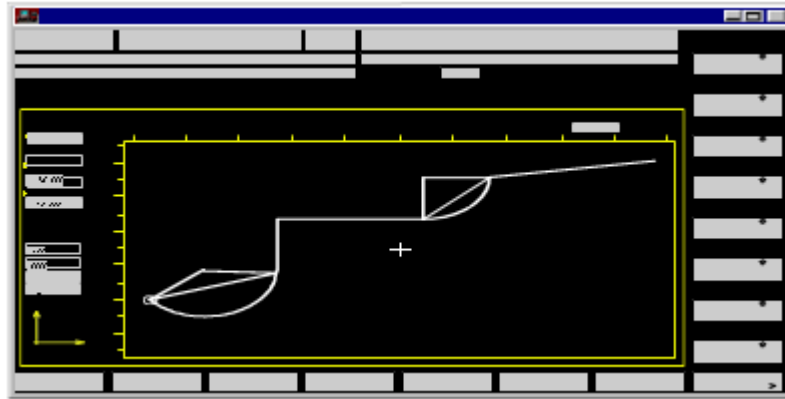
### 7.2.4 Déblocage

Un programme ne peut être exécuté que lorsqu'il est autorisé.

Les programmes autorisés sont marqués d'un "X" dans l'aperçu des programmes.

Pour débloquent un programme ou pour désélectionner le déblocage, marquez le programme et appuyez sur la touche reconfigurable. BLOCAGE/DEBLOCAGE.

### 7.2.5 Simuler un programme



**Figure III.9 :** Simulation graphique des mouvements d'outil

Pendant l'édition d'un programme, les mouvements d'outil peuvent être visualisés graphiquement (Voir la **Figure III.9**).

Ceci permet de vérifier l'exactitude de la géométrie et de la forme du programme.

Les erreurs technologiques (par ex. sens de rotation erronée, avance erronée, etc.) ne peuvent pas être détectées.

#### **Couleurs de l'affichage :**

Vert clair	Déplacement à vitesse d'avance
Vert foncé	Déplacement en marche rapide
Jaune	Réticule, symbole d'outil, axes de symétrie, etc.
Bleu	Lignes auxiliaires de cercle

Les positions des axes, l'avance, l'outil, l'état **Run/ Reset** et les réglages Auto zoom et Single sont affichés dans la fenêtre de simulation.

Sélectionnez la simulation avec la touche reconfigurable. **SIMULATION**.

La simulation est démarrée avec la touche reconfigurable. **START**.

La simulation est remise à zéro avec **RESET**.



Avec **SINGLE**, la simulation est effectuée bloc par bloc (poursuite avec **START**).

Avec **ZOOM AUTO**, vous avez une représentation adaptée à la fenêtre de tous les déplacements dans la plage de déplacement graphique.

Avec **RETOUR A L'ORIGINE**, vous revenez à l'affichage d'origine (suppression des fonctions zoom).

**TOUT AFFICHER** affiche la plage de déplacement totale de la machine.

Avec **ZOOM +** et **ZOOM -**, vous pouvez sélectionner le grossissement de l'affichage.

Avec les touches curseur, placez le réticule sur le centre voulu de l'affichage de la section.

**EFFACER IMAGE** efface le contenu actuel de l'image.

Avec **CURSEUR FIN / GROSSIER**, vous pouvez indiquer le pas d'un actionnement de touche curseur.

Avec **EDIT**, vous revenez à l'éditeur de programme.

## 8. Correction et Mesure d'outil

### 8.1 Correction d'outil

*Appel d'outil :*

**T..:** Numéro d'outil dans le magasin

**D..:** Numéro de correction d'outil

Jusqu'à 9 numéros de correction D peuvent être affectés à chaque numéro d'outil T.

La commande SINUMERIK /840D désigne les données de correction D comme arête tranchante. Ceci ne se rapporte pas aux différents tranchants (dents) de l'outil, mais aux données de correction, affectées à cet outil.

Un outil peut avoir plusieurs numéros de correction (par ex. une fraiseuse à surfacer peut aussi être utilisée comme fraiseuse de chanfrein; deux points différents sont mesurés sur le même outil).

Selon l'utilisation, on appelle dans le programme par ex. T1 D1 ou T1 D2.

Avec l'ordre T..D., les valeurs de correction d'outil D sont appelées et l'outil n'est pas encore changé.

Les données pour la correction d'outil (longueur de fraise, rayon de fraise, ...) sont lues depuis la mémoire de correction d'outil.

Numéros d'outil possibles : T 1..32000, D 1..9

### 8.2 Changement d'outil

**M6:** Changer l'outil

Avec l'ordre M6, tous les mouvements nécessaires au changement de l'outil sont exécutés automatiquement.

Pour éviter des collisions, l'outil doit être auparavant dégagé de la pièce (dégagement).

*Exemple :*

N50     G0 X200 Y120 Z80

Accoster la position de changement d'outil N55     T4     D1

Appeler l'outil et la correction d'outil N60     M6

Changer l'outil

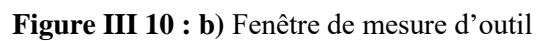
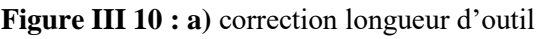
N65     ...

### 8.3 Correction de longueur d'outil

La correction de longueur d'outil agit perpendiculairement au plan de travail (G17-G19). Utilisation principale lors du fraisage vertical : G17 - Correction de longueur d'outil en Z.

Avec la correction de longueur d'outil, l'origine d'outil est déplacée du point de référence de l'outil N au bec de l'outil. Ainsi toutes les indications de position se rapportent au bec de l'outil (Voir la **Figure III 10.a**).

Sur la plupart des fraiseuses, le point de référence de l'outil N se trouve au centre de la face avant du nez de la broche.



L'outil est appelé sous ce numéro (numéro de la place dans le porte-outil)

52

Numéro de la correction d'outil. Un outil peut avoir plusieurs numéros de correction (par ex. une fraiseuse à surfacer peut aussi être utilisée comme fraiseuse de chanfrein, deux points différents sont mesurés sur le même outil).

Nombre d'arêtes tranchantes

Nombre de numéros D pour l'outil respectif (pas le nombre de dents, etc.)

Type d'outil

Le type d'outil est défini avec ce numéro.

Géométrie Dimensions de l'outil

Usure

Ecart par rapport à la valeur géométrique.

Base

Dimension d'un porte-outil (par ex. tête d'engrenage) dans lequel les outils sont fixés.

La somme de la géométrie, de l'usure et de la base donne la correction d'outil totale opérante (Voir la **Figure III 10.b**).

### 8.4 Touches de fonction reconfigurables

*T-No +, T-No -*

Commute au prochain numéro d'outil de niveau supérieur ou inférieur.

*D-No +, D-No -*. **Commute dans l'outil actuel à la prochaine correction de niveau supérieur ou inférieur.**

**Effacer** un outil de la liste ou effacer une correction de l'outil actuel.

Appuyez sur la touche reconf. "Effacer". Dans la barre verticale apparaissent les touches reconf. "Efface outil", "Efface tranchant" et "Abandon".

**Efface outil**

L'outil actuel est effacé avec tous les tranchants (corrections D).

**Efface arête tranchante**

Le tranchant avec le numéro D le plus élevé est toujours effacé.

Les numéros D doivent être numérotés à la suite. Par ex. un outil avec quatre tranchants doit avoir et seul D4 peut être effacé.

D1 ne peut pas être effacé. Dans ce cas, l'outil doit être effacé (un outil doit avoir au moins un tranchant).

### **Abandon**

#### **Sortie sans effacer.**

*Aller à Sélection directe d'un outil.*

Appuyez la touche reconfigurable. "Aller à". Les touches de fonction reconfigurables de sélection sont affichées dans la barre verticale et à côté une zone d'entrée.

### **Outil présélectionné**

Numéro T sélectionné dans le programme CNC (pendant ou après le déroulement du programme).

### **Outil actif**

Outil, pivoté dans le changeur d'outil.

Zone d'entrée

Ici vous pouvez entrer directement le numéro T et D et le reprendre avec .

**OK**



Commute à l'outil voulu. Abandon sans sélection d'outil.

### *Liste*

Affichage de la liste des outils. Positionnez le curseur sur l'outil voulu et sélectionnez- le avec la touche reconfigurable. "OK".

### **Créer Création** d'un nouvel outil ou d'une nouvelle correction (tranchant).

Nouvelle arête tranchante

Un bloc de données de correction est ajouté à un outil.

Indiquez à quel numéro T vous voulez ajouter un tranchant (l'outil actuel est proposé) et quel type d'outil le nouveau tranchant représente.

Reprenez l'entrée avec .



Avec la touche reconfigurable. "OK", vous créez le nouveau tranchant. Avec "Abandon", il y a abandon sans création.

### Nouvel outil

Un nouvel outil est ajouté à la liste. Indiquez le numéro T et le type d'outil du nouvel outil.

Reprenez l'entrée avec



Avec la touche reconfigurable. "OK", vous créez le nouvel outil. Avec "Abandon", il y a abandon sans création.

### Définir la correction

Mesure d'outil automatique, voir Chapitre "Mesurer les outils".

#### *Direction de la correction de longueur*

La direction de la correction de longueur dépend du plan sélectionné G17 - G19.

G17 (application principale en fraisage vertical) : Longueur 1 en Z

Rayon dans le plan XY

Sauf indication contraire, le cas normal G17 est décrit dans ces instructions.

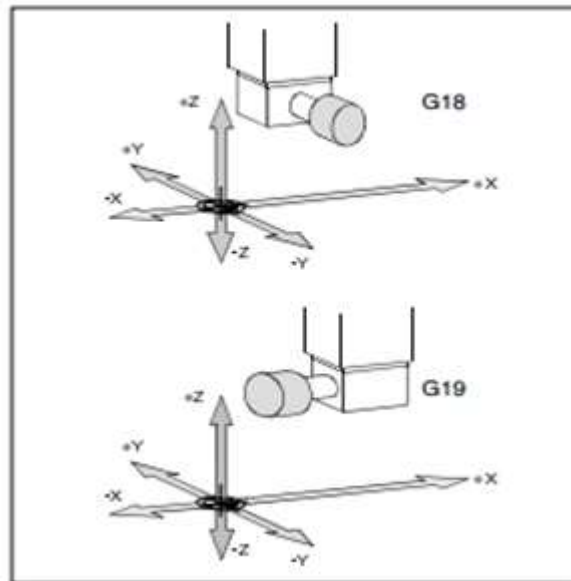
G18 (application principale en fraisage horizontal ou usinage avec fraise à tête angulaire)

:

Longueur 1 en Z Rayon dans le plan ZX

G19 (usinage avec fraise à tête angulaire) Longueur 1 en Z

Rayon dans le plan YZ (Voir la **Figure III 11**)



**Figure III 11 :** Plan G18 et g19

*Valeurs de correction nécessaires pour forets, fraises*

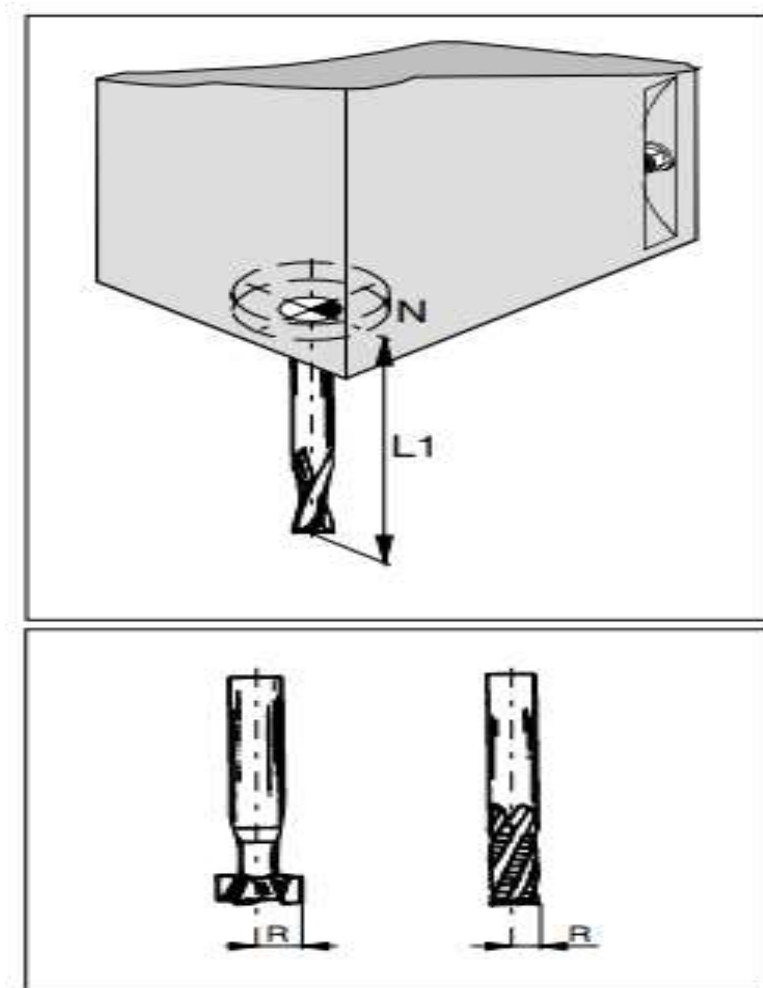
Pour les outils de fraisage, vous devez entrer :

- Longueur 1
- Rayon

Lors du perçage, il faut indiquer le rayon = 0, car, lors du perçage, il n'y a pas d'usinage sur le pourtour.

Dans les zones Longueur 2 et Longueur 3, il faut entrer 0.

Toutes les autres entrées sont ignorées par la commande (Voir la **Figure III 12**).



**Figure III 12 :** Valeurs de correction nécessaire pour forets

Valeurs de correction nécessaires *pour outils à tête angulaire*.

Pour les fraises à tête angulaire, on utilise la sélection de plan G18 ou G19.

### **G18**

L'axe de la fraise est parallèle à l'axe de la machine Y (perpendiculaire au front de la machine).

Longueur 1 en Y Longueur 2 en Z (Longueur 3 en X) Rayon en X/Z

### **G19**

L'axe de la fraise est parallèle à l'axe de la machine X (parallèle au front de la machine).

Longueur 1 en X Longueur 2 en Z (Longueur 3 en Y) Rayon en Y/Z.



Pour les fraises à tête angulaire, il est recommandé d'entrer comme valeur de base les dimensions de la tête angulaire (toujours les mêmes) et comme valeur géométrique les dimensions de la fraise.

Ceci permet de mesurer la longueur d'outil L1 (géométrie) sur un appareil de préréglage d'outil. "N" est utilisé comme point de référence du logement de l'outil (Voir la **Figure III 13**).

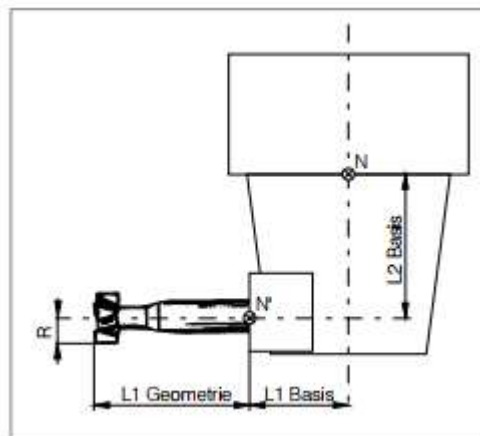
Les valeurs de base donnent l'écart de N par rapport à N'.

### *Tête angulaire avec décalage latéral*

Si l'axe de l'outil et l'axe de la broche principale ne se coupent pas, l'outil est décalé latéralement.

Ce décalage doit être entré ensuite en plus comme valeur de base Longueur 3 en X (pour G18) et en Y (pour G19).

Pour les têtes angulaires sans décalage latéral, il faut entrer la valeur 0 pour la longueur 3.



**Figure III 13:** Mesure Tête angulaire

### 8.5 Mesurer des outils

- 1- Monter la boîte de mesure ou le comparateur.
- 2- Sélectionner le mode de fonctionnement.
  - a. Déplacer le nez de la broche sur la boîte de mesure/le comparateur (1) mettre le comparateur à 0.

b. Appeler la mémoire de correction d'outil Groupe fonctionnel Paramètres - Correction d'outil

c. Appuyer sur la touche reconfigurable. "Définir les corrections".

d. Mettre l'axe sur Z dans la zone "Cote de référence".

e. Reprendre la position de l'outil avec OK.

La valeur de référence (hauteur du nez de la broche) est affichée au point "Longueur 1". Entrer la position actuelle au point "Val. Réf."

f. Entrer Longueur 1 dans la zone "Cote de référence" au point "Valeur de référence".

g. Changer l'outil à mesurer.

h. Déplacer la pointe de l'outil à la boîte de mesure/ au comparateur. Positionner le curseur à la longueur 1 (contrôler le numéro T).

i. Appuyer sur "Déterminer. correct.», sélectionner l'axe Z et appuyer sur OK. La longueur d'outil est mémorisée en L1.

j. Sélectionner le prochain numéro T et reprendre à partir du point 9 jusqu'à ce que tous les outils soient mesurés.

#### *Entrer le rayon d'outil*

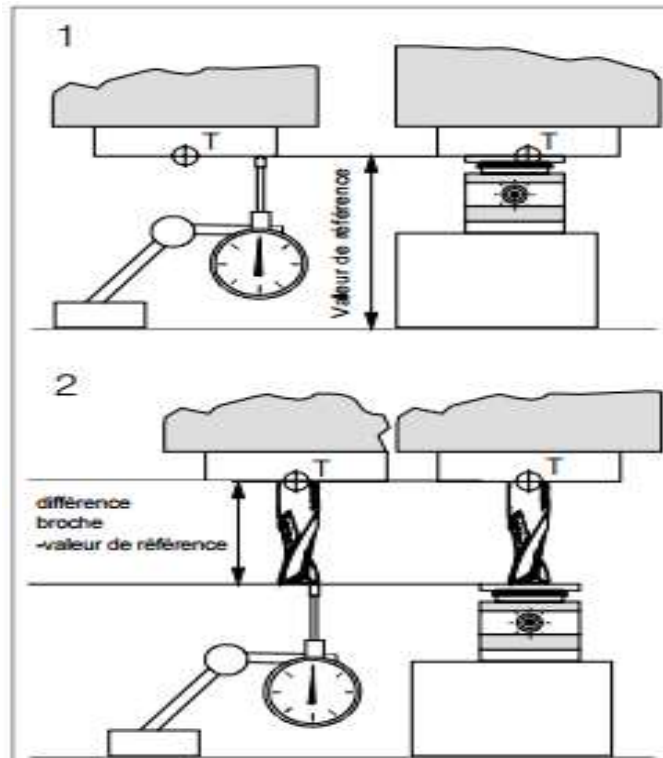
- Mesurer directement le rayon d'outil (pied à coulisse) et l'écraser manuellement dans la mémoire de correction d'outil.

- Utiliser la procédure ci-dessus pour le rayon d'outil:

- Direction d'accostage en X ou Y

Sur 6 : Mettre l'axe sur X ou Y (selon la direction d'accostage)

(Voir la **Figure III 14**)



**Figure III 14:** Entrer le rayon d'outil

# **Chapitre IV**

## **Méthodologie de fabrication par commande numérique**

### 1. Introduction

Ce chapitre constitue la mise en application pratique des concepts théoriques abordés précédemment. Après avoir exploré les généralités sur les machines à commande numérique (Chapitre I), les principes fondamentaux des engrenages et leurs méthodes de fabrication traditionnelles (Chapitre II), ainsi que l'environnement de programmation Sinumerik 840D (Chapitre III), nous nous attacherons désormais à décrire de manière détaillée et méthodique le processus complet de fabrication d'un pignon à denture droite sur une fraiseuse CNC.

L'objectif est de présenter un cas d'étude concret, en partant de la définition de la pièce, en passant par la programmation de l'usinage, jusqu'à l'obtention du produit final. Cette démarche permettra non seulement de valider les connaissances acquises, mais aussi de mettre en lumière les avantages et la précision offerts par la technologie de la commande numérique par rapport aux méthodes conventionnelles.

### 2. Étude théorique et calculs

Lors de notre stage au sein de l'INSTITUT de formation, une pièce m'on été remise dénommée pignon cylindrique droit pour élaborer le programme d'usinage (Voir la **Figure IV.1**).

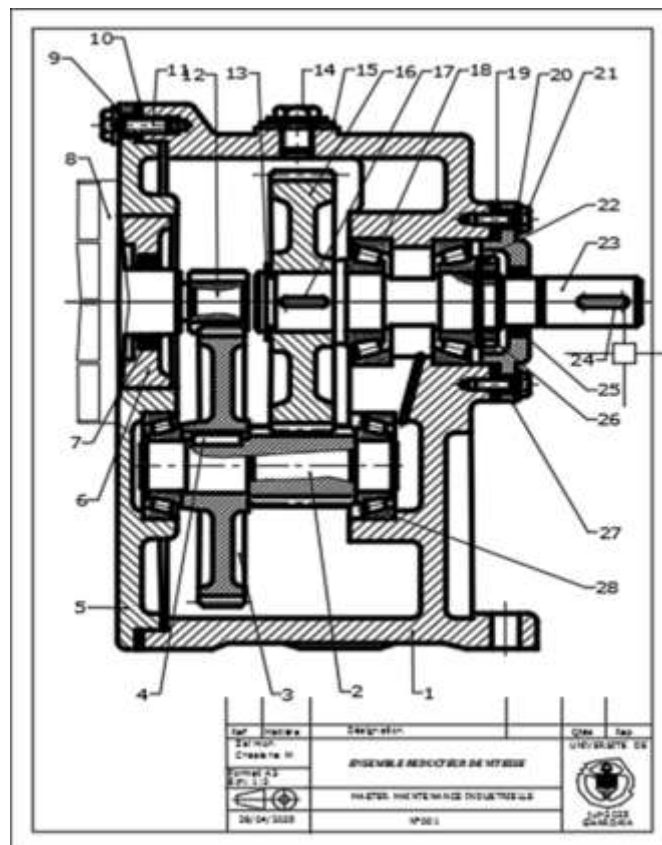


Figure IV.1: Coupe de réducteur









### Fabrication d'un engrenage droit (module=2, nombre des dents Z=24) a la méthode classique

Franchement, fabriquer ce petit engrenage nous a pris bien plus de temps qu'on pensait au début. On a bossé dessus sur plusieurs séances, et rien n'a été vraiment rapide. On a utilisé uniquement les machines classiques de l'atelier, pas de CNC ni de trucs modernes.

Dès le départ, on a dû tourner un bloc en plastique pour lui donner le bon diamètre, et rien que cette étape a pris pas mal de temps, entre les réglages et les vérifs. Ensuite, on a utilisé la diviseuse pour faire les 24 dents, et là aussi c'était long et répétitif, il fallait rester concentré sinon une seule erreur pouvait tout gâcher. À la fin, on a percé le trou pour la clavette au centre. Ça a l'air simple dit comme ça, mais sur le moment, chaque étape demandait du temps et de la précision.

#### 2.1 Choix de la fraise module

Le profil de la dent, donc de la développante de cercle, varie avec le module  $m$  et le nombre de dents à tailler. Théoriquement Pratiquement, il faut pour un même module, une fraise pour chaque nombre de dents  $Z$  à tailler. Pratiquement, les nombres de dents à taille ont été groupés en 8 paliers jusqu'au module 10 indus (Voir la **Tableau IV.1**) et 15 paliers au-dessus du module 10.

Profil de la dent								
N° de la fraise	1	2	3	4	5	6	7	8
Z Nombre de dents à tailler	12 à 13	14 à 16	17 à 20	21 à 25	26 à 34	35 à 54	55 à 134	135 à $\infty$

**Tableau IV.1:** classification des fraises

#### 2.2 La parte de calcule

$$m = 2$$

$$Z = 24$$

$$\text{Diamètre primitif } d_p = ?$$

$$d_p = m * Z = 2 * 24 = 48$$

Diamètre de tête  $d_a = ?$

$$d_a = d_p + 2m = 48 + 4 = 52$$

Diamètre de pied  $d_f = ?$

$$d_f = d_p - (2.5 * m) = 48 - 5 = 43$$

Hauteur de la dent  $h = ?$

$$h = 2 * m = 2 * 2 = 4$$

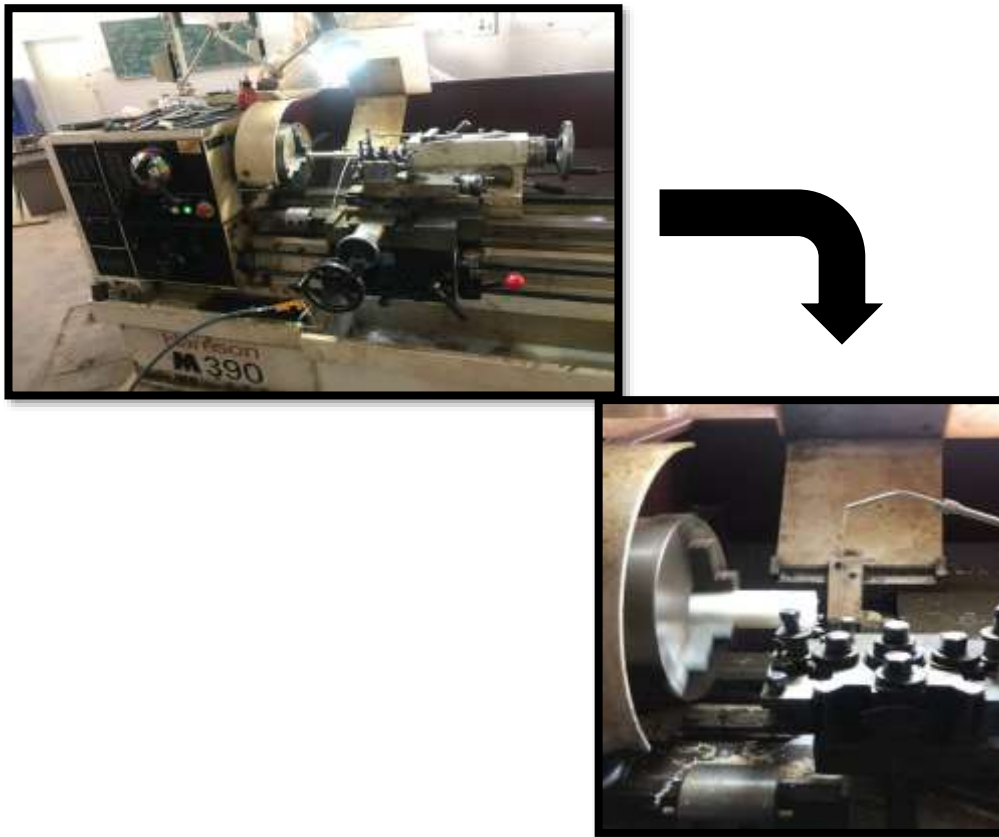
### 3. Processus de fabrication par méthodes traditionnelles

À l'atelier, on devait fabriquer un engrenage à dents droites, alors on a décidé de le faire à l'ancienne, avec les moyens qu'on avait sous la main

#### 3.1 Première étape : Préparation de la pièce brute sur le tour

Cette première étape consiste à façonner un bloc de plastique brut pour lui donner la forme initiale de l'engrenage. La pièce est d'abord solidement fixée dans le tour, une machine qui la fait pivoter à haute vitesse. À l'aide d'un outil de coupe précis, on affine progressivement son diamètre jusqu'à atteindre les cotes souhaitées. Le but ? Obtenir une surface parfaitement lisse et un diamètre d'une précision millimétrique, deux critères essentiels pour les étapes suivantes.

Bien qu'elle puisse paraître simple, cette phase exige une grande rigueur. Une erreur d'usinage, même infime, pourrait compromettre la pièce et perturber toute la chaîne de production. C'est donc une étape déterminante, qui influence directement la qualité et les performances finales de l'engrenage (Voir la **Figure IV.2**).



**Figure IV.2:** Préparation de la pièce brute sur le tour Harrison M390

### 3.2 Deuxième étape : Usinage des dents de l'engrenage

Maintenant, place à la fraiseuse ! On commence par fixer la pièce (déjà tournée) sur une fraiseuse horizontale ou verticale. Pour obtenir des dents parfaitement espacées, on utilise un diviseur – un outil magique qui permet de faire tourner la pièce avec une précision au millimètre. Comme sur la dernière photo, c'est lui qui garantit un angle de rotation parfait entre chaque dent.

Ensuite, on monte une fraise module adaptée pour tailler les dents une par une. Après chaque coup de fraise, le diviseur fait son travail : un petit tour, une nouvelle dent, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'engrenage soit complet. Attention, cette étape demande de la rigueur : une mauvaise rotation ou une profondeur de coupe mal réglée, et c'est tout l'engrenage qui peut être faussé (Voir la **Figure IV.3**).

C'est ici que la magie opère : une simple pièce cylindrique se transforme en un véritable engrenage prêt à entrer en action !





**Figure IV.3:** Taillage des dents d'engrangement sur fraiseuse avec diviseur

Pour le déplacement d'un dent a une autre on utilise le diviseur de 1/40

On fait la division simple  $40/Z$

La division donne un nombre entier et les dizaines

Les dizaines seront traduites en fraction

Le numérateur représente les intervalles des trous plus un trou

Le dénominateur représente le cercle des trous

La formation représente la virgule (Voir la **Figure IV.4**)

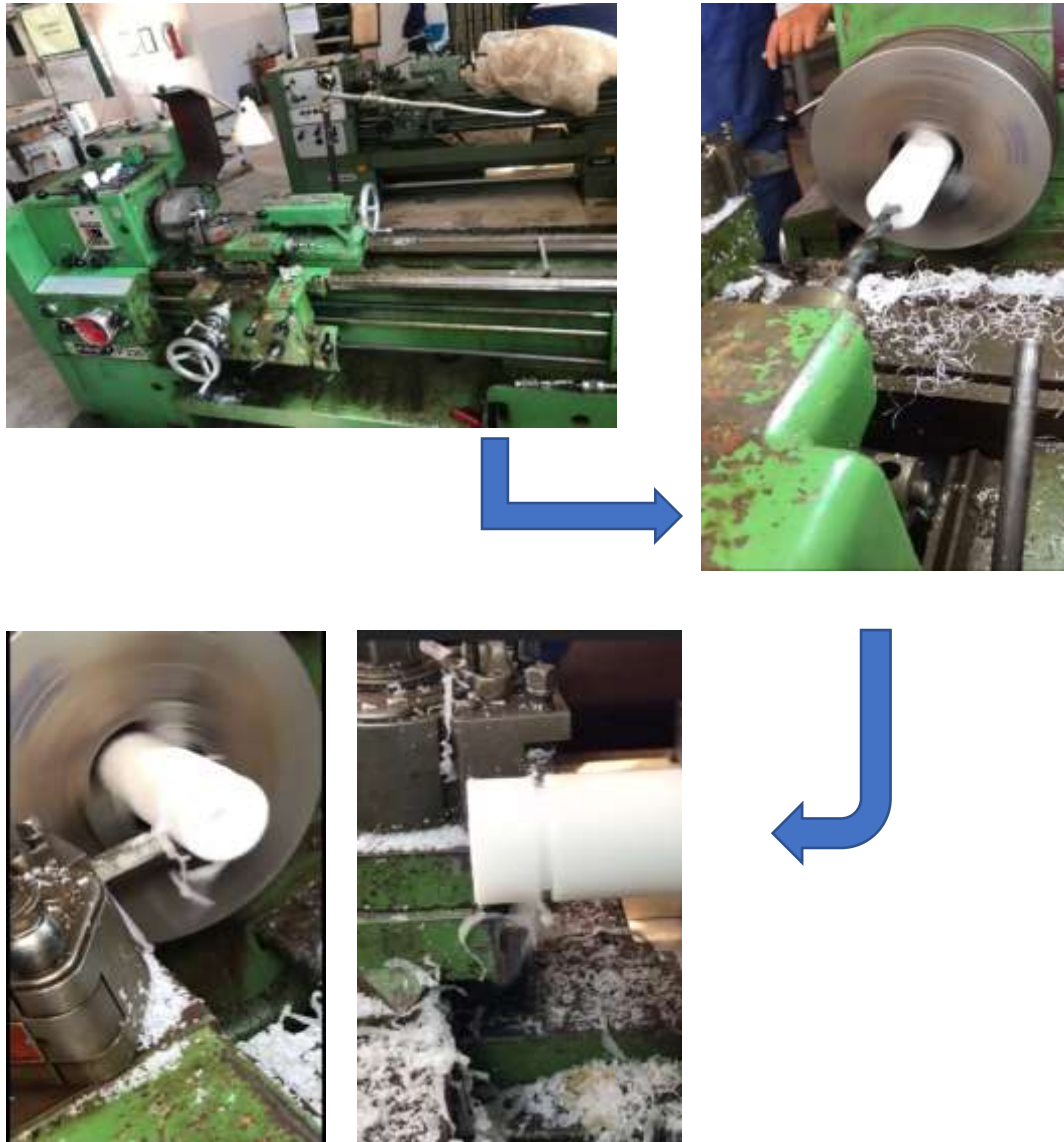


**Figure IV.4:** Diviseur 1/40 pour le déplacement entre dents d'engrangement

### 3.3 Troisième étape : Perçage et chariotage

Après le taillage des dents, place à la touche finale ! On commence par percer au tour un trou central d'une précision chirurgicale - le futur axe de rotation de notre pignon. Puis, grâce au chariotage, on affine méticuleusement l'épaisseur jusqu'à obtenir la cote parfaite. Ces deux

opérations sont cruciales : elles transforment un simple engrenage en une pièce prête à s'intégrer harmonieusement dans son mécanisme, sans jeu ni vibration (Voir la **Figure IV.5**). Un travail de fourmi où chaque centième de millimètre compte !



**Figure IV.5:** Perçage et chariotage final de l'axe de pignon

### 3.4 Quatrième étape : Usinage de la rainure de clavette

Cette ultime phase consiste à réaliser la rainure de clavette dans l'alésage du pignon. L'objectif ? Permettre son assemblage sur un arbre équipé d'une clavette, assurant ainsi une transmission efficace du couple sans jeu mécanique.

Pour cette opération, on utilise généralement une mortaiseuse dédiée ou une fraiseuse adaptée. La rainure doit être parfaitement dimensionnée pour garantir un montage solide et durable, essentiel au bon fonctionnement du système d'entraînement.

### 4. Modélisation 3D avec SolidWorks

Nous ouvrons le programme SolidWorks dans sa première interface.

Franchement, au début, je ne savais pas trop comment m'y prendre avec SolidWorks. C'est un logiciel que je connaissais un peu, mais je n'avais jamais vraiment fait un engrenage dessus. Alors j'ai ouvert un nouveau document de type Part, parce que je voulais créer juste une seule pièce, pas un assemblage.

Après quelques minutes à chercher, j'ai trouvé la Design Library, et là j'ai cliqué sur "Toolbox". Ce truc est super pratique, parce qu'on y trouve plein de composants prêts à être utilisés. J'ai choisi la norme ISO, comme on l'a vu en cours, vu que c'est la plus courante dans l'industrie.

Ensuite, je suis allé dans la catégorie Power Transmission, où on peut insérer des engrenages. J'ai sélectionné l'engrenage droit, et j'ai commencé à remplir les paramètres : nombre de dents, module, diamètre, etc. J'avoue que j'ai dû refaire certaines étapes, parce que je m'étais trompé dans les dimensions au début (Voir la **Figure IV.6**).

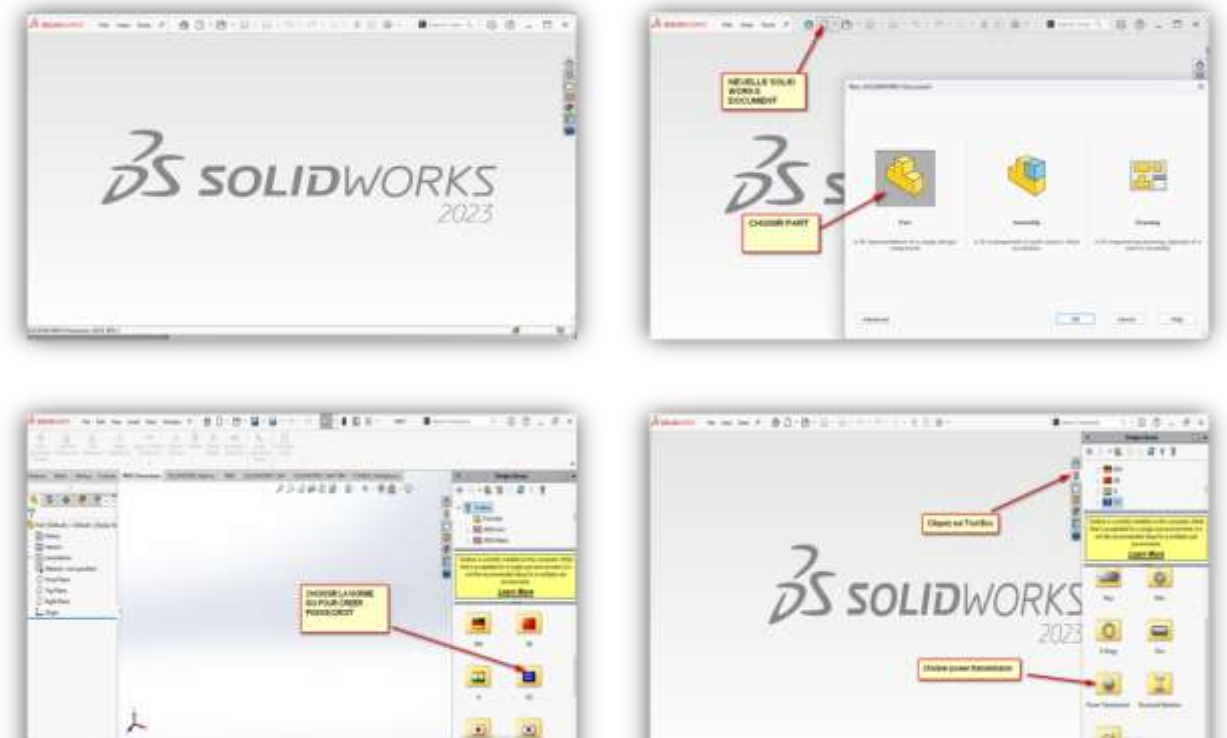


Figure IV.6: Dessin de pignon avec SolidWorks

### 5. Sélection et paramétrage du pignon:

Honnêtement, à ce stade, j'étais encore un peu hésitant. Une fois dans la bibliothèque "Toolbox", j'ai pris un moment pour bien regarder toutes les options. J'ai cliqué sur "Gears", et là, plusieurs types d'engrenages se sont affichés. J'ai failli me tromper entre l'hélicoïdal et le droit, mais après avoir relu les consignes du prof, j'ai compris qu'il fallait bien un pignon droit (le plus classique, en fait).

Quand j'ai ouvert la fenêtre de configuration du pignon, j'ai essayé de ne pas aller trop vite. J'ai rempli les champs un par un, en vérifiant à chaque fois, parce qu'une petite erreur pouvait complètement déformer la pièce. J'ai donc mis :

**Module** : 3 mm

**Nombre de dents** : 18, pas plus ni moins.

**Angle de pression** : laissé à 20° (j'ai pas touché vu que c'est la valeur par défaut).

**Largeur de denture** : j'ai mis 12 mm.

Et pour finir, j'ai choisi un type d'axe carré ("Keyway Square"), car ça s'adapte mieux dans notre cas.

Ce que j'ai trouvé cool, c'est que le modèle 3D se met à jour en temps réel. Du coup, pendant que je modifiais les paramètres, je pouvais voir tout de suite l'effet sur le pignon. Franchement, ça aide à mieux comprendre ce qu'on est en train de faire.

Bon, j'ai dû recommencer une ou deux fois parce que j'avais mis une valeur fausse au début (j'avais inversé le module et le diamètre, je crois...), mais après correction, tout s'est bien affiché. Le rendu était propre, et j'étais assez content du résultat (Voir la **Figure IV.7**).



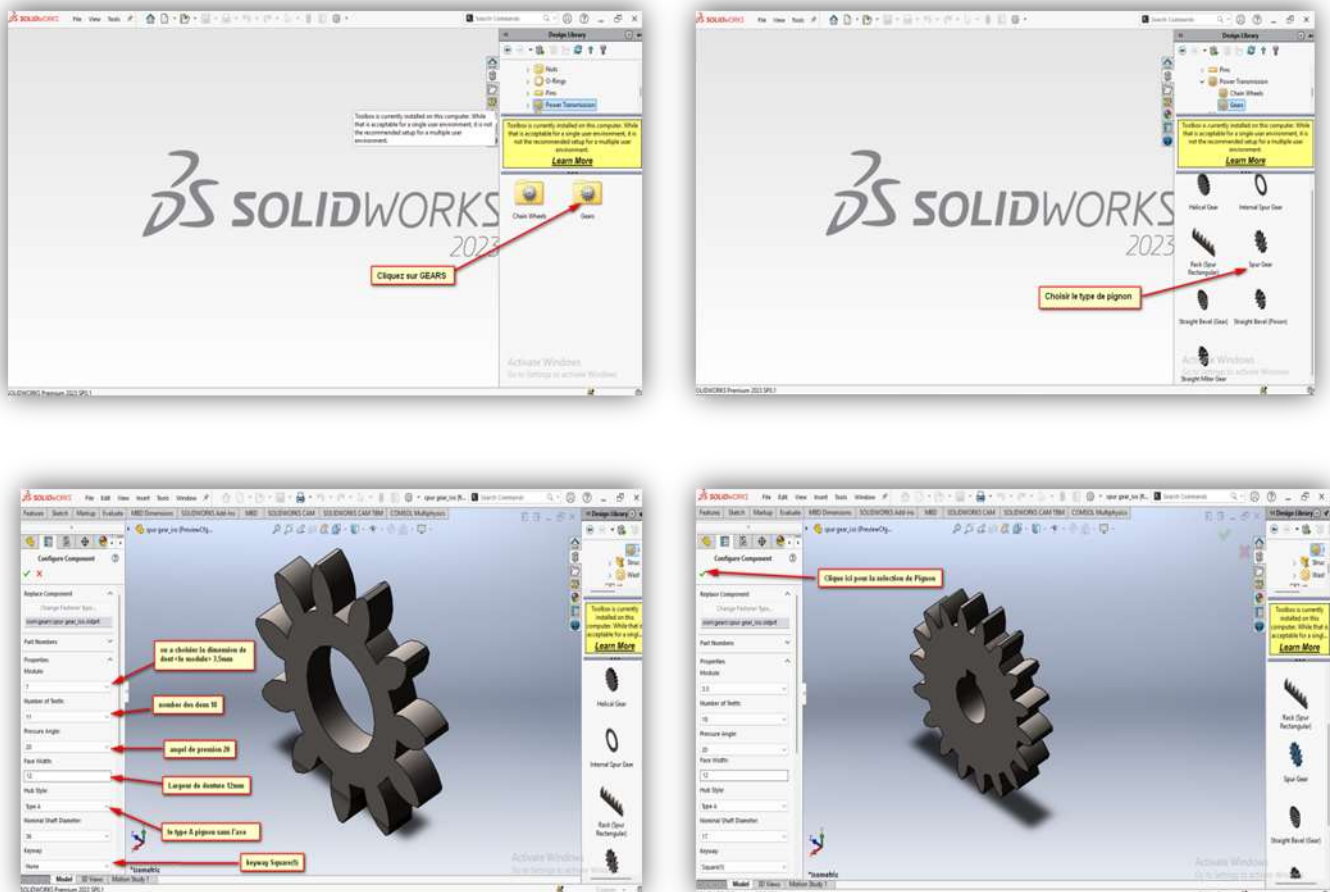


Figure IV.7: Choix du pignon et configuration des paramètres

### 6. Génération de la fiche technique et préparation pour les mesures dans "AutoCAD"

Ne fois l'engrenage terminé sur "SOLIDWORKS", je suis passé à l'étape suivante, celle où l'on crée la mise en plan technique (Voir la **Figure IV.9**). C'est indispensable pour pouvoir faire toutes les mesures précises par la suite dans "AutoCAD".

Depuis la barre d'outils en haut, j'ai cliqué sur "Make Drawing from Part", ce qui m'a permis d'ouvrir une nouvelle page de mise en plan. Une petite fenêtre est apparue pour choisir le format de feuille, et là j'ai sélectionné le format "A4", parce que c'est largement suffisant pour ce genre de pièce.

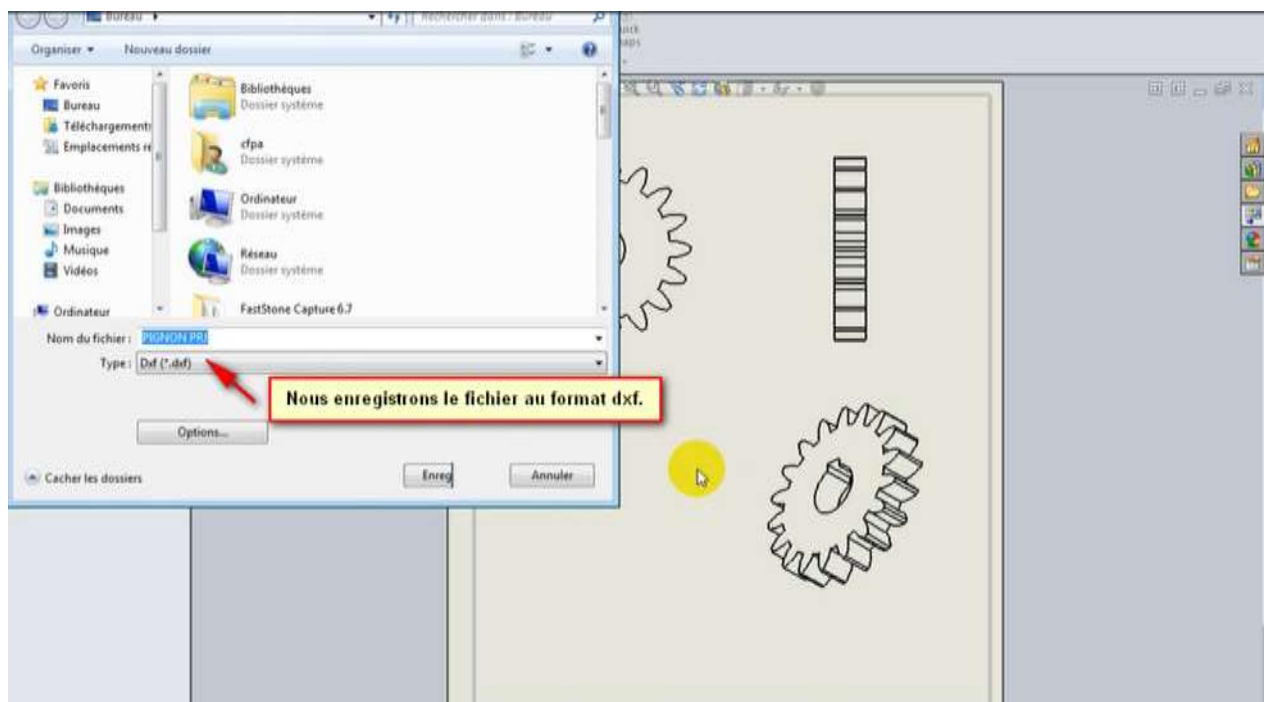
Ensuite, j'ai commencé à insérer les vues nécessaires : la vue de face, la vue du dessus et une vue isométrique pour avoir une idée claire du volume. J'ai essayé de bien les organiser pour que tout soit lisible et cohérent, surtout si quelqu'un d'autre devait lire cette fiche.

À ce moment-là, j'ai pris soin d'ajouter les éléments essentiels : le nom du projet, la désignation de la pièce, la date, et j'ai laissé un petit espace pour d'éventuelles remarques ou annotations.

Une fois satisfait du résultat, j'ai enregistré le fichier au format ".dxf" car c'est ce qui permet de l'ouvrir ensuite dans "AutoCAD" sans problème (Voir la **Figure IV.8**). Ce passage entre "SOLIDWORKS" et "AutoCAD" est super pratique, ça m'évite de tout recommencer à zéro pour les mesures.

### Petite présentation " d'AutoCAD" :

"AutoCAD" est un logiciel développé par " Autodesk", largement reconnu dans le domaine de la conception assistée par ordinateur. Il est utilisé par des ingénieurs, architectes et concepteurs industriels pour réaliser des dessins techniques en 2D et 3D. AutoCAD est particulièrement apprécié pour la précision de ses outils de dessin et de mesure.



**Figure IV.8:** Création de la mise en plan technique au format A4

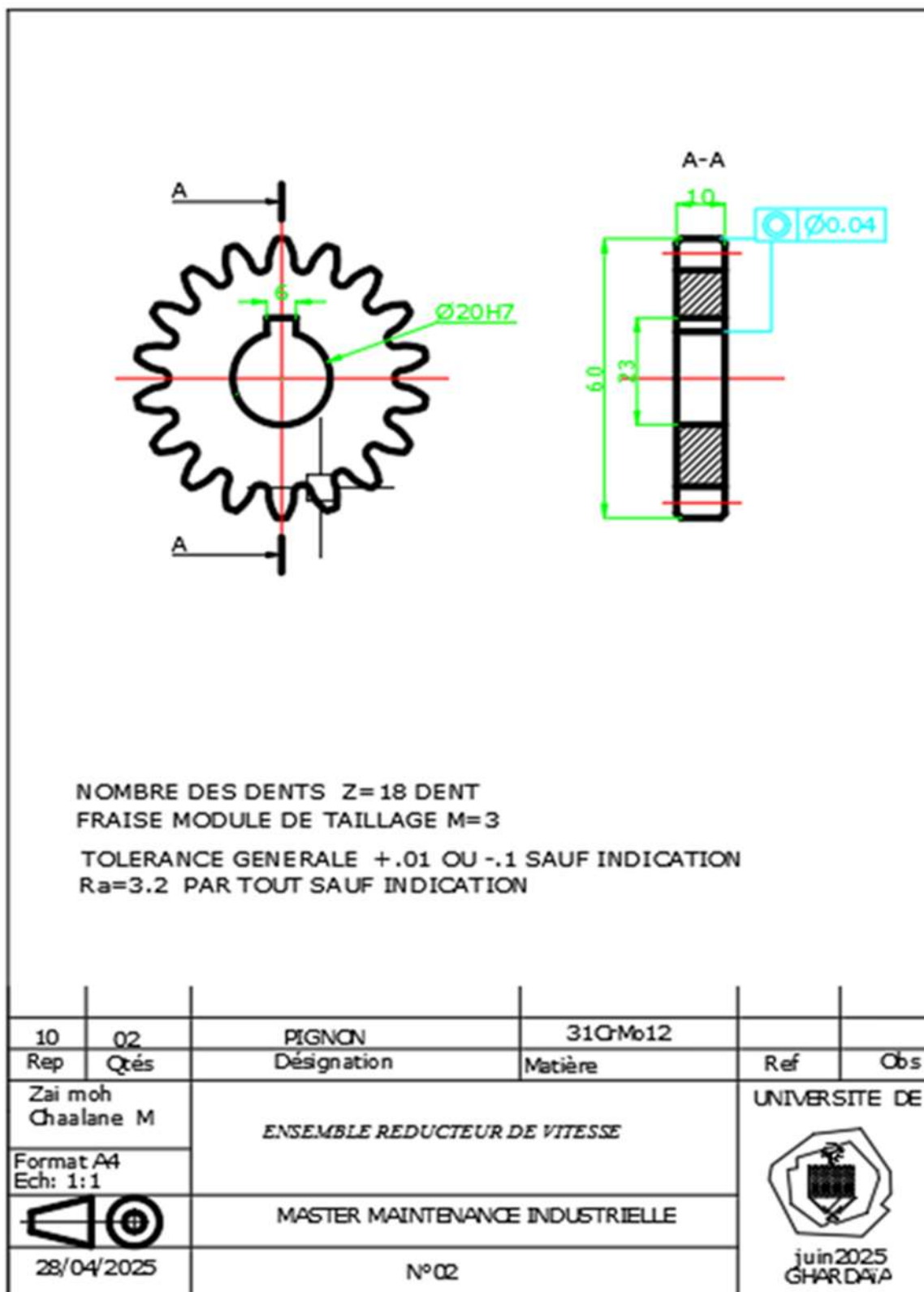
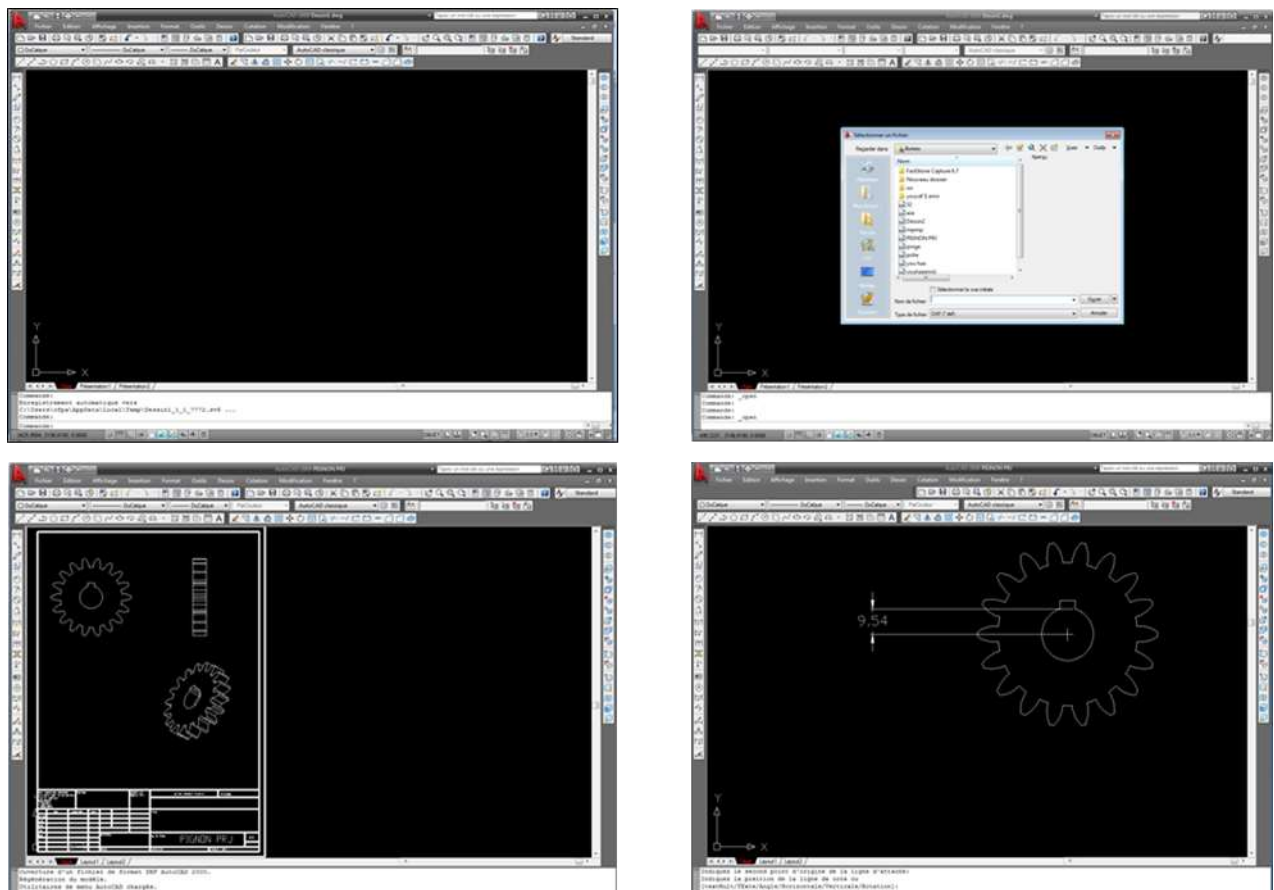


Figure IV.9: Mise en plan détaillée de l'engrenage avec cotes techniques

### 7. Validation des cotes sur AutoCAD

Une fois le fichier du pignon exporté depuis SolidWorks au format "dxf" je l'ai ouvert dans AutoCAD afin d'effectuer les mesures nécessaires. Cette étape est cruciale pour valider que toutes les dimensions du modèle sont exactes et conformes aux besoins de fabrication (Voir la **Tableau IV.2**).

Dans AutoCAD, après l'importation du dessin, j'ai utilisé les outils de cotation comme DIMLINEAR pour mesurer précisément le diamètre extérieur, la largeur des dents, et l'espacement entre celles-ci. Ces mesures s'affichent clairement sur le plan technique généré auparavant, ce qui permet de vérifier que tout correspond bien aux paramètres initialement définis lors de la conception (Voir la **Figure IV.10**).



**Figure IV.10:** Passage à " AutoCAD" et vérification des côtes du pignon



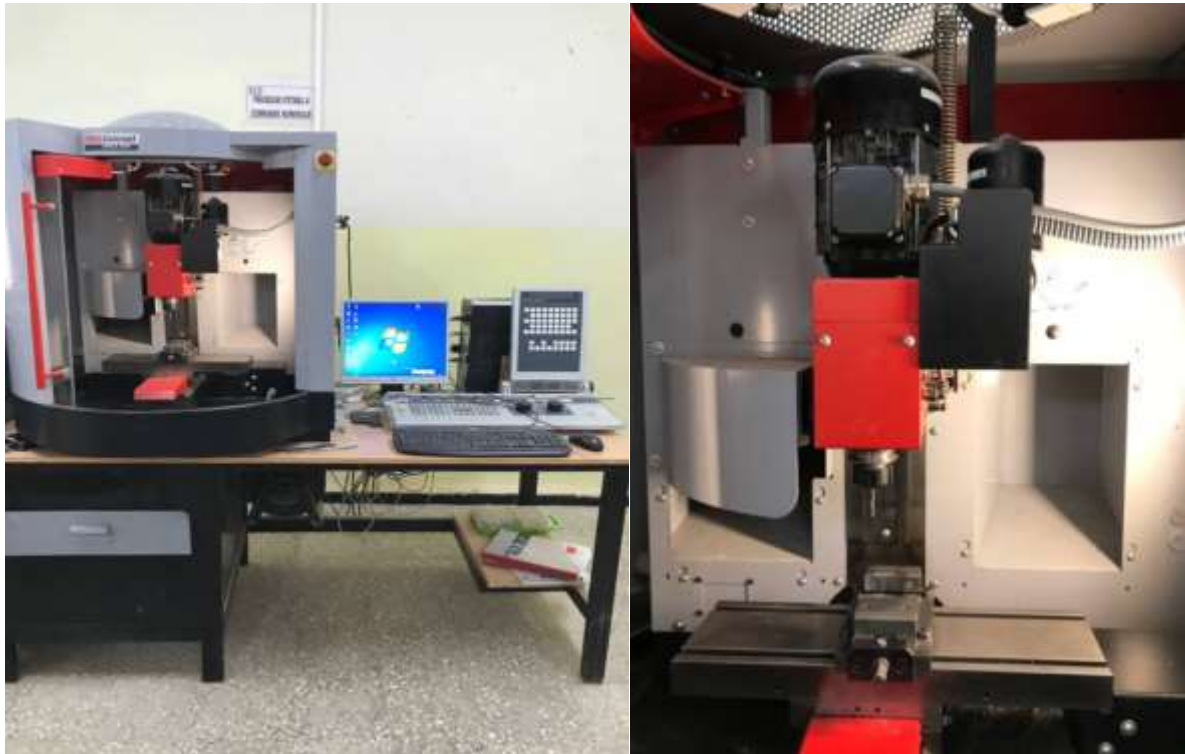
## CHAPITRE IV : Méthodologie de fabrication par commande numérique

	X	Y	R		X	Y	R
1	03.00	09.54	//	39	-06.95	-34.30	12.60
2	03.00	12.80	//	40	-05.20	-34.61	//
3	-03.00	12.80	//	41	-01.76	-27.07	12.60
4	-03.00	09.54	//	42	01.76	-27.07	//
cyrcle	From 4	To 1	//	43	05.20	-34.61	12.60
5	-01.76	27.07	//	44	06.95	-34.30	//
6	-1.76	27.07	//	45	07.60	-26.04	12.60
7	-05.20	34.61	12.60	46	10.91	-24.83	//
8	-06.95	34.30	//	47	16.72	-30.75	12.60
9	-07.60	26.04	12.60	48	18.27	-29.85	//
10	-10.91	24.83	//	49	16.05	-21.87	12.60
11	-16.72	30.75	12.60	50	18.75	-19.60	//
12	-18.27	29.85	//	51	26.23	-23.17	12.60
13	-16.05	21.87	12.60	52	27.38	-21.81	//
14	-18.75	19.60	//	53	22.56	-15.06	12.60
15	-26.23	23.17	12.60	54	24.32	-12.01	//
16	-27.83	21.81	//	55	32.57	-12.81	12.60
17	-22.56	15.06	12.60	56	33.18	-11.13	//
18	-24.32	12.01	//	57	26.35	-06.44	12.60
19	-32.57	12.81	12.60	58	26.96	-02.96	//
20	-33.18	11.13	//	59	34.99	-00.89	12.60
21	-26.35	06.44	12.60	60	34.99	00.89	//
22	-26.96	02.96	//	61	26.96	02.96	12.60
23	-34.99	00.89	12.60	62	26.35	06.44	//
24	-34.99	-00.89	//	63	33.18	11.13	12.60
25	-26.96	-02.96	12.60	64	32.57	12.81	//
26	-26.35	-06.44	//	65	24.32	12.01	12.60
27	-33.18	-11.13	12.60	66	22.56	15.06	//
28	-32.57	-12.81	//	67	27.38	21.81	12.60
29	-24.32	-12.01	12.60	68	26.23	23.17	//
30	-22.56	-15.06	//	69	18.75	19.60	12.60
31	-27.38	-21.81	12.60	70	16.08	21.84	//
32	-26.23	-23.17	//	71	18.27	29.85	12.60
33	-18.75	-19.60	12.60	72	16.72	30.75	//
34	-16.05	-21.87		73	10.91	24.83	12.60
35	-18.27	-29.85	12.60	74	07.60	26.04	//
36	-16.72	-30.75		75	06.95	34.30	12.60
37	-10.91	-24.83	12.60	76	05.20	34.61	//
38	-07.60	-26.04	//	77	01.76	27.07	12.60

**Tableau IV.2:** Coordonnées de la trajectoire d'usinage

### 8. Importation dans la machine CNC et génération de la trajectoire d'usinage

Nous extrayons les dimensions de l'engrenage à partir du dessin technique dans AutoCAD et préparons le programme sur la machine CNC (Voir la **Figure IV.11: a** et **Figure IV.11: b**).



**Figure IV.11: a)** Poste de travail d'usinage CNC **Figure IV.11: b)** Vue rapprochée de la tête de fraisage

Après avoir préparé toutes les données nécessaires sur AutoCAD et simulé le processus d'exploitation, nous avons programmé la machine CNC en utilisant l'interface EMCO WinNC SINUMERIK 840D pour le fraisage. Parce qu'elle permet de traduire le dessin technique en un ensemble d'instructions compréhensibles par la machine CNC (**Figure IV.12**).



**Figure IV.12:** Simulation et lancement du fraisage avec EMCO WinNC

## CHAPITRE IV : Méthodologie de fabrication par commande numérique

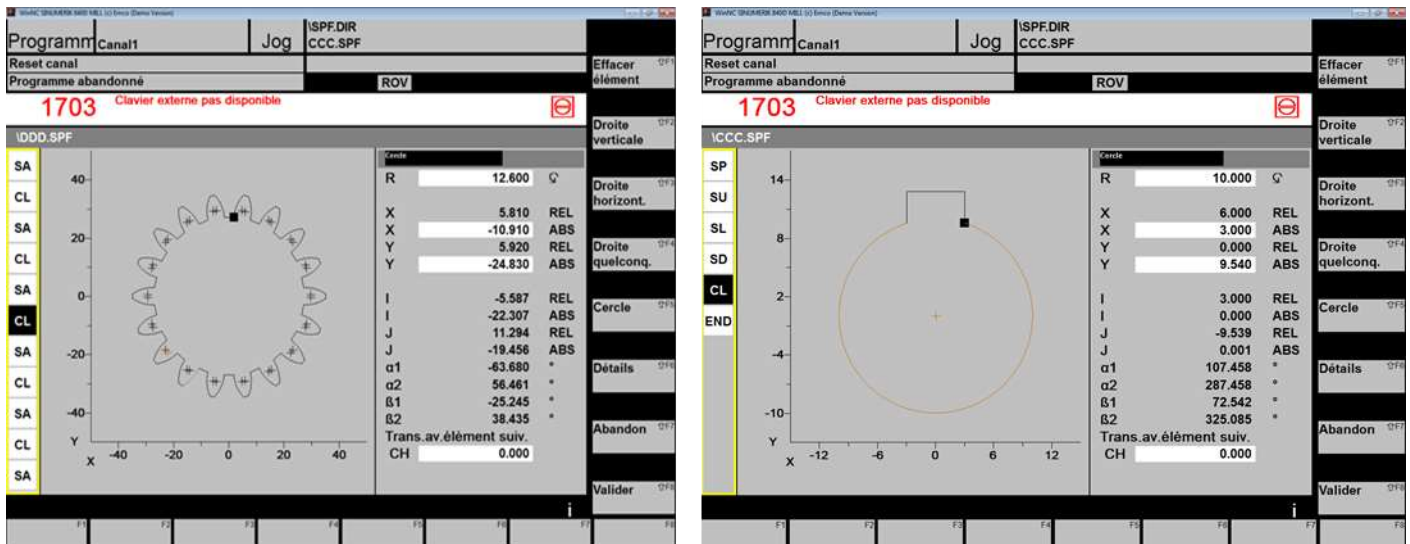
Pour cela, nous avons transféré le fichier dans le logiciel de simulation de la commande numérique – ici, "EMCO WinNC SINUMERIK 840D fraisage" L'image de gauche montre l'engrenage avec tous les détails générés automatiquement à partir des coordonnées saisies : rayon (R), centre (X, Y, Z), ainsi que les angles de coupe et les directions de déplacement.

Les codes utilisés, tels que :

- SA, CL, SD, SU, SP, permettent de définir les trajectoires entre les points,
- Tandis que les paramètres de profondeur, vitesse et orientation sont ajustés selon les besoins du projet.

Sur l'image de droite, nous avons programmé l'alésage central de l'engrenage. Les coordonnées sont entrées avec précision (par exemple, un rayon de 10 mm), et le cercle est positionné exactement là où il doit être par rapport aux axes X et Y (Voir la **Figure IV.13**).

Cette phase de programmation est cruciale, car elle garantit que la machine suivra fidèlement le modèle numérique. Cela permet de produire une pièce conforme aux exigences, avec une grande précision et sans défauts.

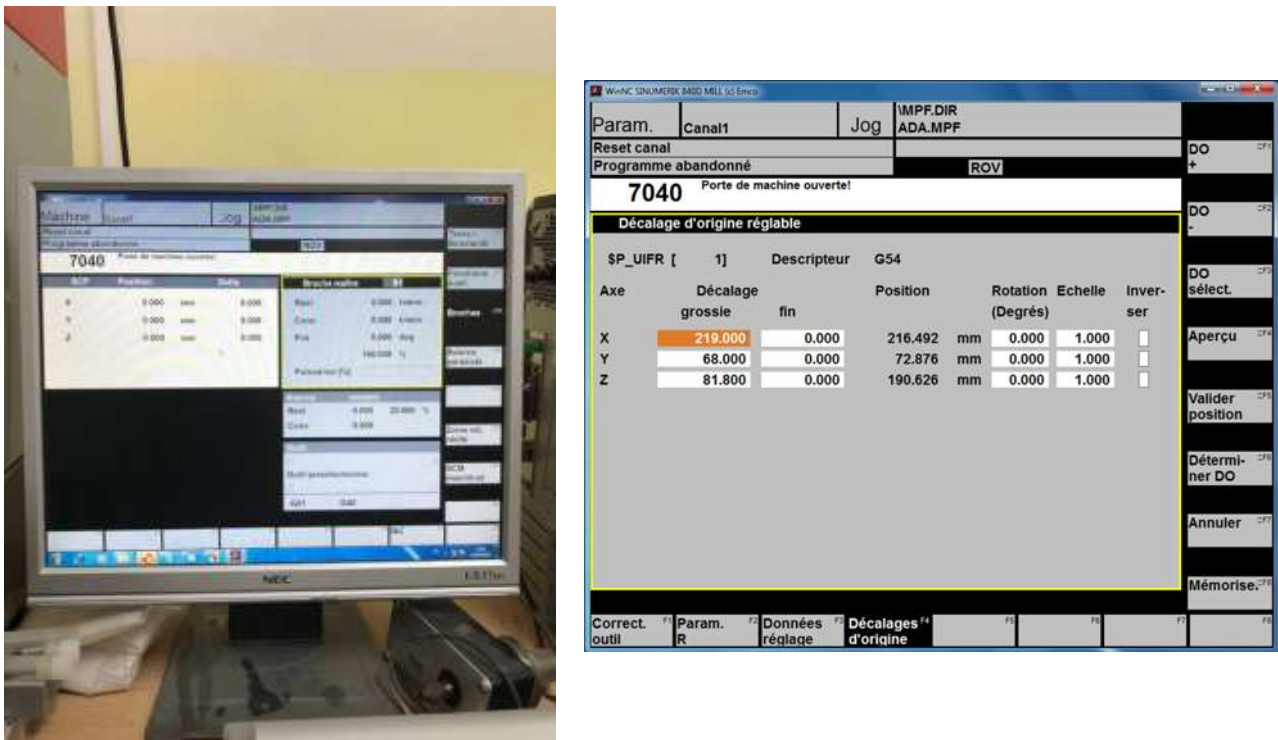


**Figure IV.13:** Simulation et programmation de l'engrenage dans EMCO WinNC SINUMERIK 840D

## 9. Réglage paramètres de correction outil sur registre machine

### 9.1 Entrer des données de décalage d'origine

Avant de commencer à tailler l'engrenage ( $m=2$ ,  $Z=24$ ), on a dû entrer les décalages d'origine sur la machine. On a mis l'outil au centre du brut, là où l'axe du pignon devait passer, puis on a enregistré les positions sur l'écran. On a noté les valeurs de X, Y et Z qu'on voyait en bas, et on les a entrées dans le registre G54. Par exemple, pour X c'était autour de 219 mm, Y à peu près 68 mm, et Z un peu plus de 81 mm. On a vérifié plusieurs fois pour être sûrs, et une fois que c'était bon, on a pu lancer le programme. Ça n'a pas pris trop de temps, mais il fallait faire attention pour éviter de se tromper de point d'origine (Voir la **Figure IV.14**).



**Figure IV.14:** Réglage des décalages d'origine et enregistrement dans le registre G54

### 9.2 Écriture et programmations de la pièce

Dans cette interface, nous avons d'abord créé deux sous-programmes "sous-programme" décrivant la forme de la clé "CCC" et la forme des dents de la roue "DDD", puis nous avons intégré ces sous-programmes dans le programme principal "PIGNON", en spécifiant les cycles de fonctionnement, les coordonnées, ainsi que les vitesses et les pannes de l'outil. Chaque ligne de code a été vérifiée pour garantir la précision du fonctionnement. Grâce à cette

## CHAPITRE IV : Méthodologie de fabrication par commande numérique

programmation organisée, la machine CNC peut fabriquer l'engrenage avec une grande précision (Voir la **Figure IV.15**).

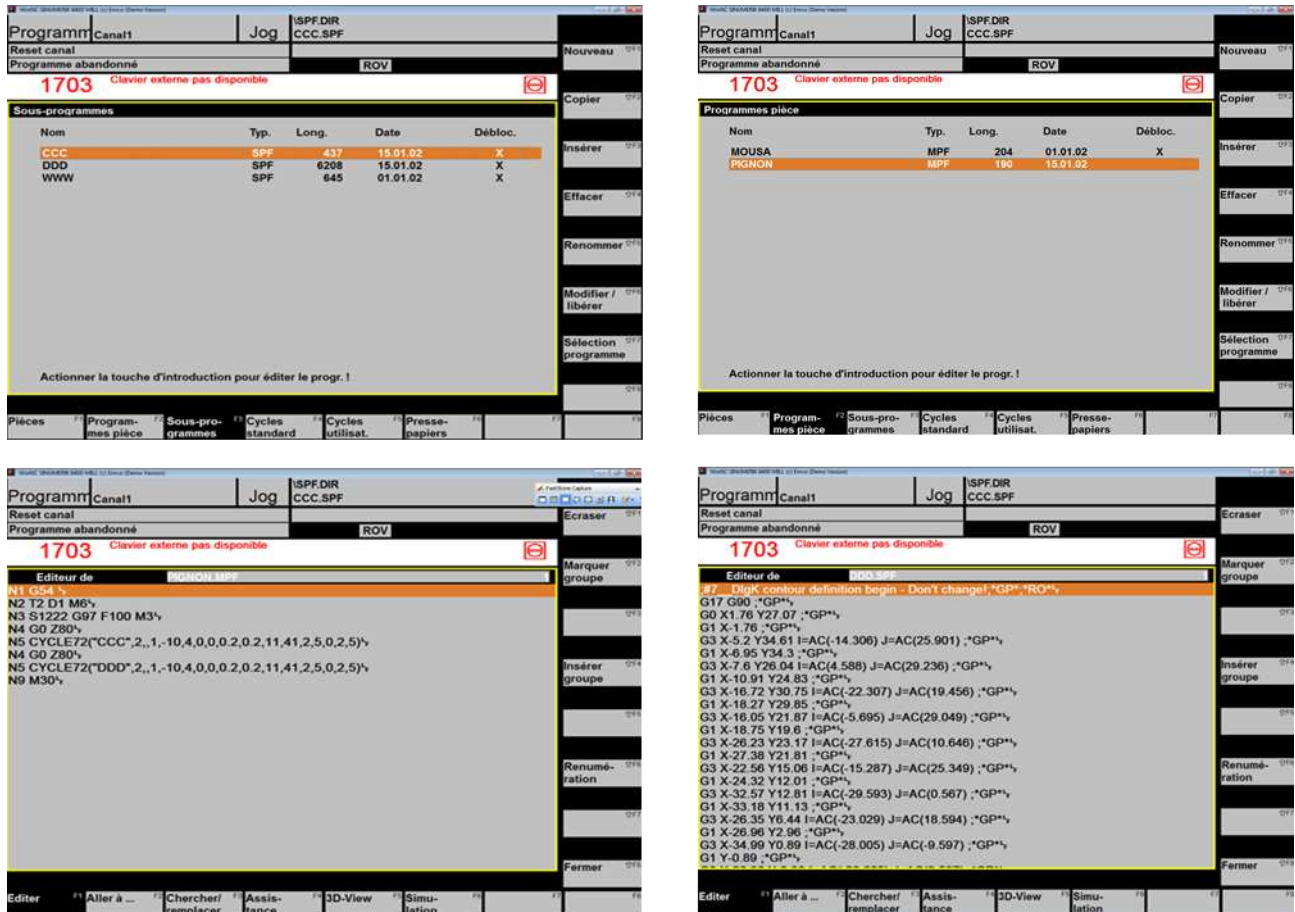


Figure IV.15: Programmation de l'engrenage avec sous-programmes CCC et DDD dans EMCO WinNC

### 9.3 Simulation de programme

Nous faisons une simulation du programme que nous avons élaboré pour contrôler l'exactitude des informations et son bon fonctionnement avant de le mettre en œuvre directement sur la matière première (Voir les **Figures IV.16**, **IV.17** et **IV.18**).

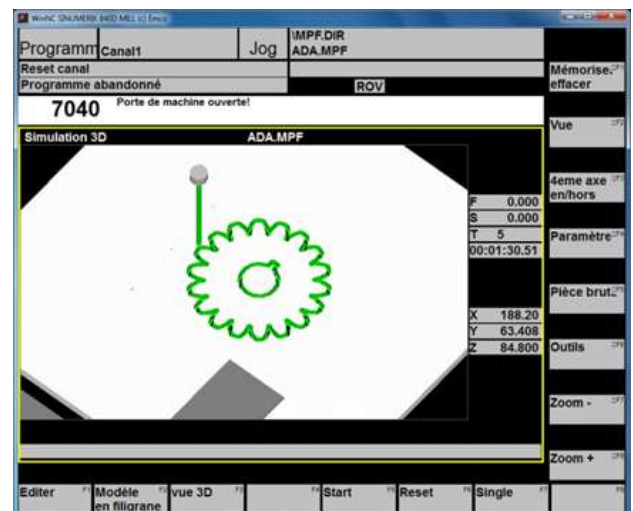


Figure IV.16: Simulation 3D du programme d'usinage dans EMCO WinNC



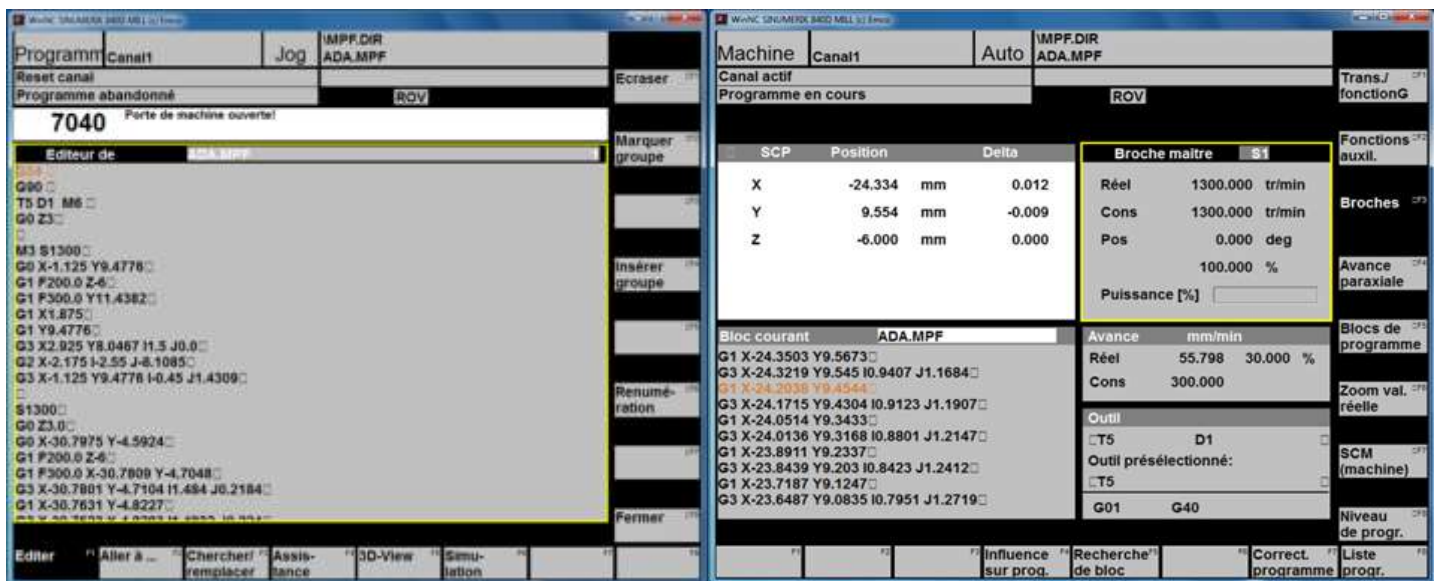


Figure IV.17: Programmation et configuration des paramètres d'usinage dans EMCO WinNC



Figure IV.18: Fraisage de l'engrenage en cours sur machine CNC

### 10. Entretien et maintenance

#### 10.1 Entretien et maintenance du pignon

##### 10.1.1 Objet et champ d'application

Cette section définit les actions d'entretien préventif et prédictif applicables au pignon étudié. L'objectif est d'assurer la disponibilité, la précision d'engrènement et la durée de vie tout en minimisant les interventions correctives. Les recommandations ci-dessous s'appliquent au pignon en 31CrMo12 usiné et traité comme décrit au chapitre IV.

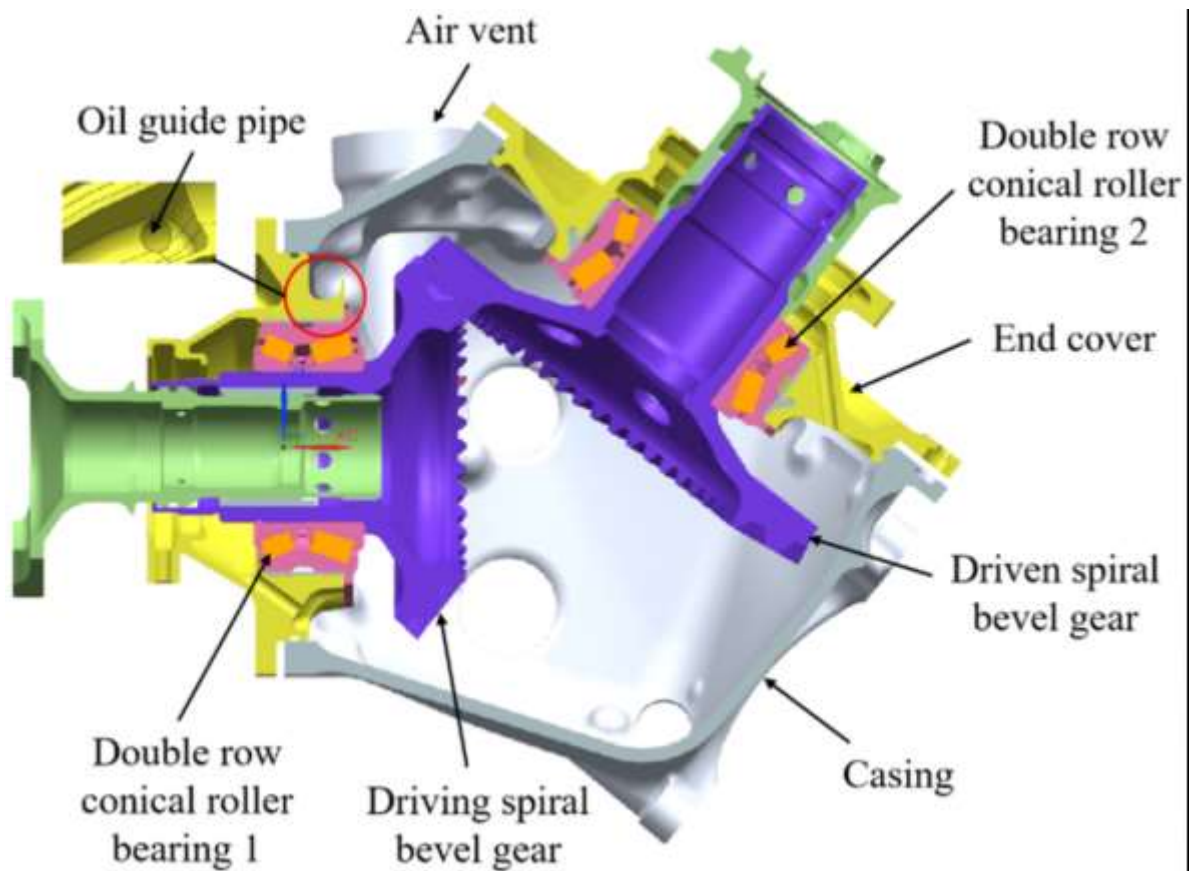


Figure IV.19: Coupe transversale de l'assemblage du pignon conique étudié.

##### 10.1.2 Programme d'entretien préventif (planning)

Établir un calendrier basé sur les heures de fonctionnement et sur la gravité de l'application. Exemple synthétique :

- **Contrôles visuels et lubrification** : chaque 250–500 h.
- **Vérification du jeu (backlash) et du contact de denture** : chaque 1000 h ou après toute intervention mécanique.

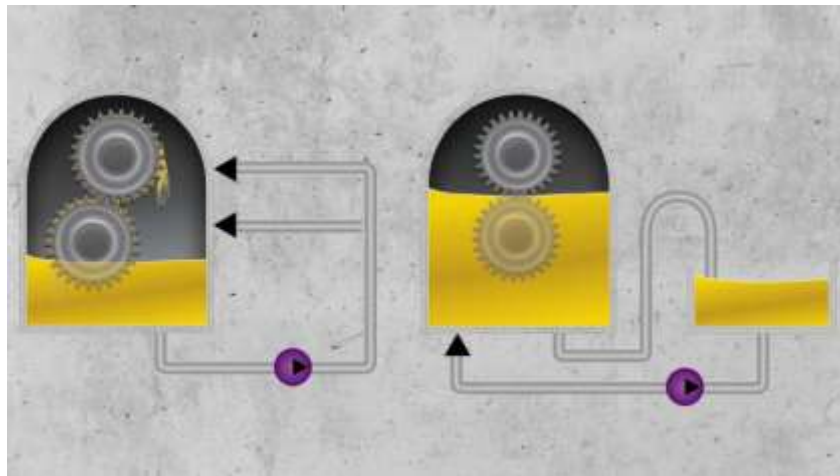
- **Analyse d'huile et surveillance vibratoire** : périodicité mensuelle ou conditionnelle selon criticité.

La périodicité doit être ajustée après les premières observations en service.

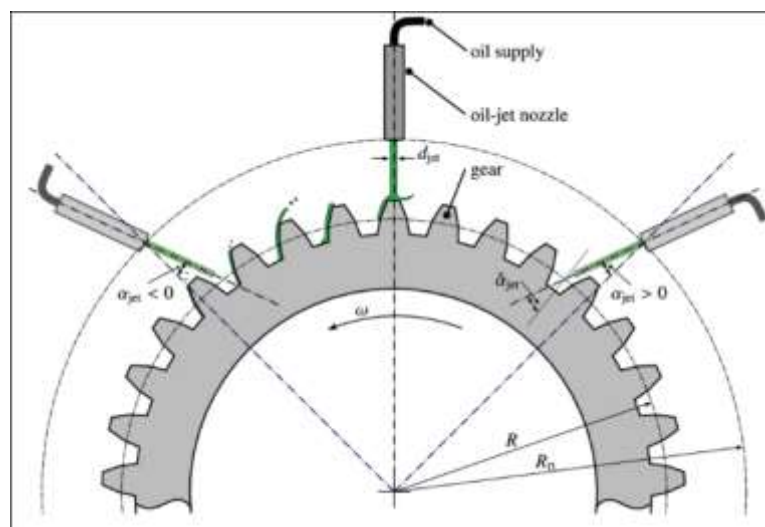
### 10.1.3 Lubrification et fluide opératoire

**Choix de lubrifiant** : utiliser une huile industrielle pour engrenages adaptée au couple, à la température et à la charge (indice de viscosité et additifs anti-usure). Consulter les recommandations constructeurs d'outils et de roulements.

**Méthode** : splash (bain) pour petites machines ou circulation forcée avec filtration et refroidissement pour installations sévères.



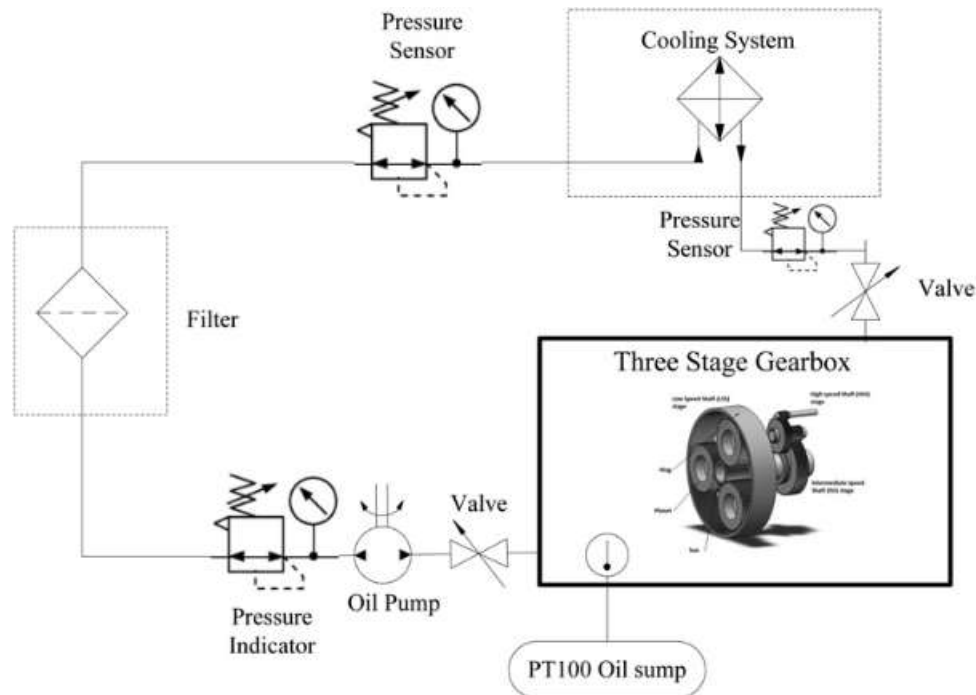
**Figure IV.20:** Comparaison entre la lubrification par barbotage (splash) et par circulation forcée.





**Figure IV.21:** Exemple de lubrification par jet d'huile (oil-jet) ciblant l'engrènement.

L'ajout d'un circuit de recirculation et d'un système de filtration prolonge significativement la durée de vie des dents et des paliers.



**Figure IV.22:** Schéma d'un circuit de lubrification complet avec filtration et refroidissement.

**Paramètres de contrôle :** niveau d'huile, température de service, teneur en eau et particules (analyse d'huile). Consigner valeurs seuils dans la fiche machine.

### 10.1.4 Contrôles et opérations d'inspection

Inspection visuelle : éclats de dent, pitting, traces de contact anormales.

Mesures dimensionnelles : diamètre primitif, épaisseur de dent, jeux latéraux. Se référer aux tolérances d'inspection AGMA et aux procédures locales pour définir limites d'acceptation.

Contrôle du contact (papier d'analyse ou empreinte d'huile) pour vérifier la zone de contact et détecter glissement ou mauvaise distribution de charge.

### 10.2 Entretien de la machine CNC (MILL55 / SINUMERIK)

Tâches quotidiennes : nettoyage de la table, vérification du système de serrage, contrôle visuel de fuites lubrifiantes, état des outils.

Tâches hebdomadaires : vérifier jeux sur guidages, niveaux huile lubrification glissières, état des courroies et flexibles.

Tâches mensuelles / périodiques : calibration des origines (G54...), contrôle de la concentricité broche, vérification compensations outils, sauvegarde des programmes et mises à jour logicielles.

Sécurité électrique et armoire CN : vérifier connexions, ventilations, filtres d'armoire. Maintenir températures de fonctionnement.

Mesure et capteurs : entretenir sondes et dispositifs de mesure d'outil. Vérifier fonctionnalité de l'interface EMCO WinNC et enregistrer paramètres corrections (offsets).

Surveillance prédictive : monitorer vibrations broche et chariots. Relever tendances et déclencher inspections avant défaillance.

Documentation : registre machine pour heures d'usage, interventions, changements d'outils et incidents.

### **10.3 Entretien lié aux méthodes traditionnelles (tour, diviseuse, fraisage conventionnel)**

Outillage : affûtage et contrôle fréquent des fraises et outils de brochage. Remplacer outils émoussés.

Diviseuse et dispositifs manuels : vérifier jeu indexage, graissage tenons, et fixation des pièces. Un mauvais indexage provoque défauts de denture irréversibles.

Procédure post-usinage : contrôle dimensionnel après chaque opération clé (tournage, perçage, taillage) puis correction avant opération suivante.

Environnement : maintenir propreté atelier. Éviter contaminations abrasives lors des opérations manuelles.

## **11. Systèmes de coordonnées et origine machine**

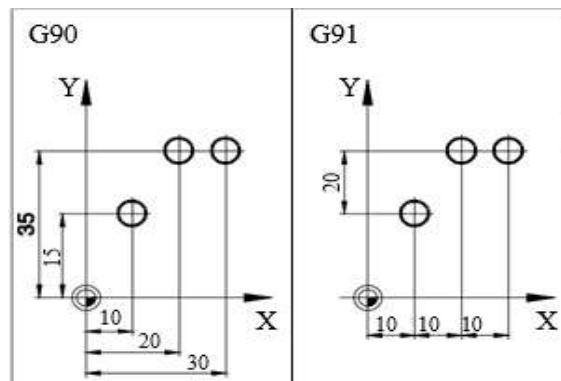
### **➤ Plan de travail G17-G19**

Le rayon de l'outil est opérant dans le plan de travail, et la longueur de l'outil est opérante perpendiculairement au plan de travail.

Pour usinage avec têtes angulaires :

Les cotes se rapportent à l'origine actuelle.

Les cotes se rapportent à la dernière position programmée de l'outil.



**Figure IV.23:** Plans de travail G17-G19 avec cotation absolue (G90) et incrémentale (G91)

## G90

La valeur Y est indiquée en cote incrémentale bien que G90 - cotation absolue - soit actif.

G0 X20 Y=AC(10)

La valeur Y est indiquée en cote absolue bien que G91 - cotation incrémentale - soit acti.

### Cycles de fraisage

Cycles de fraisage	
Cycle 71	Surfaçage
Cycle 72	Fraisage de contours quelconques
Cycle 90	Fraisage de filetage
Longhole	Trous longs sur un cercle
Slot 1	Rainures sur un cercle
Slot 2	Rainure sur cercle
Pocket 1	Poche rectangulaire
Pocket 2	Poche circulaire
Pocket 3	Poche rectangulaire
Pocket 4	Poche circulaire
Cycle 76	Fraiser un tourillon rectangulaire
Cycle 77	Fraiser un tourillon circulaire

**Tableau IV.3:** Cycles de fraisage

### CYCLE72 Fraisage de contours quelconques

CYCLE72 (KNAME, RTP, RFP, SDIS, DP, MID, FAL, FALD, FFP1, FFD, VARI, RL,AS1, LP1, FF3, AS2, LP2)

Paramètres en complément de Cycle 81:

**KNAME** Nom du sous- programme de contour

Le contour à fraiser est programmé complètement dans un sous-programme. KNAME sert à définir le nom du sous-programme de contour.

**FAL** Surépaisseur de finition au bord (introduire sans signe)

**FFD** Avance pour la pénétration en profondeur (introduire sans signe)

**RL** Exécutions du contour à droite, à gauche ou sans correction de rayon (introduction avec G40, G41, ou G42)

Valeurs:

40.....G40 (Accostage du point de départ et dégagement

au point final selon droite uniquement

41.....G41

42.....G42

LP1/LP2 Longueur, rayon

Avec LP1, vous programmez la course et le rayon d'approche. Avec LP2, vous programmez la course et le rayon d'éloignement. Les valeurs doivent être programmées >0.

FF3 Avance de recul pour positionnements intermédiaires dans le plan En cas d'avance avec G0, il faut programmer la valeur 0 pour FF3.

AS1/AS2 Programmation de la trajectoire d'approche et d'éloignement

Avec AS1, vous programmez la trajectoire d'approche et avec AS2, la trajectoire d'éloignement.

Si AS2 n'est pas programmé, le comportement d'éloignement est comme avec AS1.

### POSITION DES UNITÉS:

Valeurs: 1 droite tangentielle

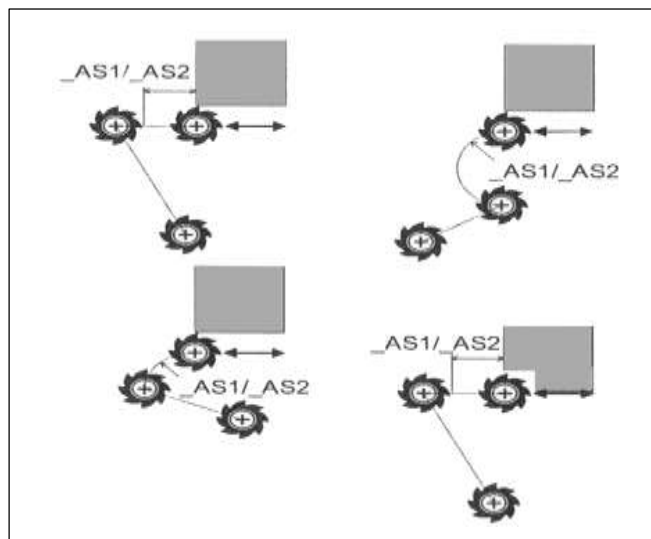
II quart de cercle

III demi- cercle

### POSITION DES DIZAINES:

Valeurs: 0 accostage du contour dans le plan

1.....accostage du contour sur une trajectoire spatiale (Voir la **Figure IV.20**).



**Figure IV.24:** AS1/AS2 Trajectoire d'approche et trajectoire d'éloignement

## Exemples Cycle 7

Nom.....	Kontur1	
Plan de retrait, absolue .....	2	
Plan	référence	absolue
.....		
0		
Distance de sécurité.....	1	
Profondeur absolue .....	-4	
Profondeur maxi de passe pour une passe .....	4	
Surépaisseur	finition,	bord
.....		
0		
Surépaisseur	finition,	fond
.....		
0		
Avance pour usinage surface.....	250	

## CHAPITRE IV : Méthodologie de fabrication par commande numérique

Avance pour pénétration.....	100
Type d'usinage .....	11
Type d'usinage .....	41
Trajet accostage .....	2
Longueur, rayon .....	5
Avance	retrait
.....	
0	
Trajet retrait.....	2
Longueur, rayon .....	5

G54 TRANS Z20

T1 D1 M6 (Fraise  $\varnothing 16$ ) S2500 F400 M3

Cycle72("Kontur1",2,0,1,- 4,4,0,0,250,100,11,41,2,5,0,2,5)

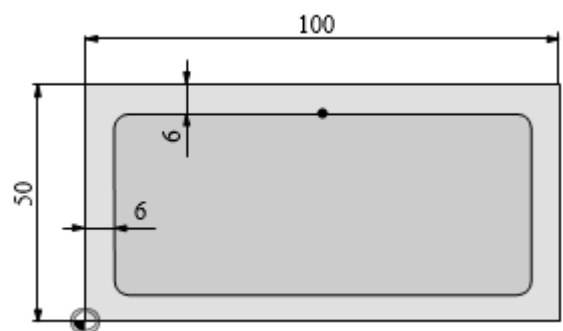
G0 Z40 M30

Sous programmes "Kontur1" G1 X50 Y44

X94 RNDM=6 Y6

X6 Y44

X50 RNDM=0 M17



### 12. Conclusion

Pendant ce travail, on s'est rendu compte que SolidWorks nous a vraiment aidés, pas juste pour modéliser les pièces mécaniques, mais aussi pour comprendre comment elles fonctionnent et vérifier si nos choix étaient bons avant de fabriquer. Comme tout est lié dans le logiciel (la pièce, l'assemblage, la mise en plan), ça nous a fait gagner du temps. Quand on modifie quelque chose, tout se met à jour automatiquement, ce qui est super pratique.

Pour les dimensions de l'engrenage, on s'est servi d'AutoCAD. Pas pour dessiner, mais surtout pour récupérer les cotes et les mesures dont on avait besoin avant de passer à la modélisation.

Ensuite, on est passés à la fabrication avec EMCO WinNC et le système SINUMERIK 840D. Là, on a entré notre programme, réglé les décalages d'origine, et lancé l'usinage sur la machine. Le logiciel est assez clair à utiliser une fois qu'on a compris où trouver les bons paramètres.

Au final, chaque logiciel avait son utilité : SolidWorks pour concevoir, AutoCAD pour les mesures, et EMCO/SINUMERIK pour fabriquer concrètement la pièce. Ce projet nous a permis de relier la théorie à la pratique, étape par étape.



# Conclusion générale

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail propose et valide une gamme d'usinage numérique destinée à la fabrication d'un pignon à denture droite pour un réducteur de vitesse à deux étages. Il s'appuie sur une chaîne numérique cohérente — modélisation 3D sous SolidWorks, contrôle dimensionnel, génération et simulation CN — et met en évidence l'apport pédagogique et industriel de l'intégration CAO → CFAO → CNC pour améliorer la précision, la reproductibilité et la sécurité des opérations d'usinage.

Les apports et conclusions principaux sont les suivants :

1. L'immersion pratique au sein de l'Institut a permis d'assurer l'enchaînement complet du processus, du brut à la pièce finie, renforçant ainsi la dimension expérimentale et pédagogique du travail.
2. Les moyens matériels de l'Institut (centres d'usinage, centres de tournage, tailleuses et rectifieuses CNC pour dentures) sont adaptés à la transition vers des gammes d'usinage numériques et justifient la formalisation de procédures numériques standardisées.
3. La robustesse de la gamme d'usinage repose sur une validation rigoureuse du dessin de définition : export SolidWorks → DXF → vérification sous AutoCAD avant toute programmation CN.
4. Pour le cas étudié, les paramètres géométriques retenus (entraxe 93,512 mm ; rapport 18/35 ; module 3,5 ; angle de pression 20°) ont guidé la modélisation, la validation dimensionnelle et la génération des trajectoires d'usinage.
5. Une interférence géométrique identifiée lors de l'analyse a été résolue par calage de profil (déport) et reconstruction de la denture selon les nouvelles données calculées, garantissant ainsi un engrènement correct.
6. La gamme proposée vise une production en moyenne série : elle intègre le choix du brut (acier 31CrMo12 laminé), la superposition numérique brut/pièce finie pour estimer les surépaisseurs, et la sélection d'outils conformes aux préconisations techniques.
7. La stratégie d'usinage adoptée se compose de deux volets complémentaires : préparation du brut (dressage, centrage, mise au référentiel G54) puis opérations d'usinage (fraisage de contours, perçage, chariotage, rainure de clavette), suivies, si nécessaire, de traitements thermiques et d'opérations de rectification avant contrôle final.
8. L'importation des côtes sous AutoCAD, la simulation préalable sur EMCO WinNC (SINUMERIK 840D) et le réglage des offsets-outils sur machine ont contribué à sécuriser l'exécution et à limiter les risques d'erreur lors du lancé en production sur la MILL55.

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE

9. L'usage systématique de la superposition numérique brut/pièce finie a facilité le dimensionnement des passes d'usinage et l'optimisation des séquences d'enlèvement de matière.

10. Les opérations de contour ont été exécutées sur la MILL55 après simulation, ce qui a permis d'éviter collisions et défauts d'usinage potentiels.

En conclusion, cette démarche illustre la valeur pédagogique et industrielle de l'intégration CAO → CFAO → CNC : elle améliore la reproductibilité, la précision et la sécurité des opérations, tout en offrant une méthodologie transférable à d'autres pièces et familles d'engrenages. Des développements ultérieurs — notamment des campagnes de mesures dimensionnelles systématiques, des analyses de répétabilité statistique et l'optimisation des paramètres d'usinage — sont recommandés pour consolider la fiabilité industrielle de la gamme.

# Recommendations

---

## RECOMMANDATIONS

**i.** Adopter et standardiser la chaîne numérique CAO → DAO → CFAO → CNC (SolidWorks → export DXF → AutoCAD → EMCO WinNC / SINUMERIK → exécution sur MILL55) comme procédure opérationnelle pour la fabrication des pignons. Cette chaîne améliore la reproductibilité, la précision et la transférabilité des gammes d'usinage.

**ii.** Valider systématiquement les cotes avant programmation : exporter la mise en plan (DXF) depuis SolidWorks puis vérifier toutes les dimensions critiques dans AutoCAD avant toute génération de trajectoire CN. Cette étape doit être obligatoire pour détecter et corriger les interférences géométriques.

**iii.** Systématiser la simulation CN et le réglage des corrections d'outil avant usinage réel : effectuer la simulation sur EMCO WinNC (SINUMERIK) et entrer/contrôler les décalages d'origine (ex. registre G54) pour réduire les risques de collisions et d'erreurs au lancement.

**iv.** Mettre en place un protocole de validation dimensionnelle et fonctionnelle : mesurer et documenter (a) contrôles dimensionnels (tolérances critiques), (b) rugosité de surface, (c) essais d'assemblage fonctionnel — ces contrôles doivent figurer dans la gamme de fabrication et le rapport final de qualification.

**v.** Utiliser la superposition numérique brut / pièce finie pour dimensionner les surépaisseurs et définir les passes : exploiter la mise en plan SolidWorks pour calculer la matière à enlever et planifier les passes d'usinage (surfaçage, dégrossissage, finitions).

**vi.** Choisir outils et paramètres conformément aux recommandations fabricant (ex. Sandvik) et documenter les choix : l'étude recommande l'usage d'outils conformes aux préconisations techniques et d'archiver les fiches outils (références, diamètres, vitesses/avances) dans la gamme.

**vii.** Corriger localement toute interférence géométrique détectée par modification de profil (déport) et reconstruction de la denture avant lancement en production — inscrire la procédure de correction dans la fiche technique.

**viii.** Organiser la stratégie d'usinage en deux phases claires : (A) préparation du brut (dressage, mise à cote, centrage, enregistrement G54, etc.), puis (B) opérations d'usinage (fraisage contours, perçage, chariotage, rainure de clavette), suivies — si nécessaire — de traitements thermiques et de rectification avant contrôles finaux.

**ix.** Fournir, en annexe technique, des exemples de programmes / sous-programmes et cycles utilisés (G-code / CYCLE72, etc.) pour faciliter la reproductibilité et la formation (le mémoire contient déjà des annexes programmatiques — à intégrer dans la documentation atelier).

---

## RECOMMANDATIONS

**x.** Capitaliser sur l'expérience pédagogique : formaliser la procédure dans un guide atelier (gamme pas-à-pas, fiches de contrôle, checklist pré-lancement) pour l'Institut afin de pérenniser la méthodologie et faciliter la montée en compétence des opérateurs.

**xi.** Réaliser des séries d'essais de répétabilité et analyses statistiques (nombre d'échantillons, moyenne, écart-type) si l'objectif est la production en moyenne série — ceci pour documenter la robustesse de la gamme et définir limites d'acceptation. (implicite dans la nécessité de « vérifier expérimentalement la conformité »).

**xii.** Prévoir des actions d'amélioration / perspectives mentionnées dans le document (à formaliser si désiré dans la section recommandations) : étude des traitements thermiques et rectification, extension de la méthodologie vers d'autres géométries (ex. engrenages hélicoïdaux), optimisation des paramètres d'usinage pour réduire les temps/couts.

## **RÉFÉRENCES**

1. Abismail, Z. (2024). La rentabilité et fonctionnement de système DAO et MDI dans les machines-outils à commande numérique [Mémoire de master, Université de Ghardaïa]. Non publié.
2. AMRC/The University of Sheffield. (n.d.). Machining Group Capability directory. Consulté le 12 septembre 2025, sur <https://www.amrc.co.uk>
3. Anglade, B., & Horsin Molinaro, H. (2017, 9 novembre). Taillage des engrenages par génération, outil fraise-mère. École normale supérieure Paris-Saclay. <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>
4. Astoul, J. (2011). Méthode et outil pour la conception optimale d'une denture spiroconique [Thèse de doctorat, Université de Toulouse]. Non publiée.
5. II. Efforts sur les engrenages droits à denture droite. (n.d.). Consulté le 12 septembre 2025, sur <http://joho.monsite.orange.fr/>
6. Ben Ghoula, A., & Bouguerra, O. (2024). La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines-outil à commande numérique [Mémoire d'ingénieur d'État, Université de Ghardaïa]. Non publié.
7. Boral, P., Stoić, A., & Kljajin, M. (2018). Machining of spur gears using a special milling cutter. *Technical Gazette*, 25(3), 798–802. <https://doi.org/10.17559/TV-20171120121636>
8. Bouanik, F. (2017). Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D ShopMill [Mémoire de master, Université Badji Mokhtar - Annaba]. Non publié.
9. CECIMO (Association Européenne des Industries de la Machine-Outil). (2024). Annual statistical report on CNC market trends.
10. Chen, Y., Hu, Y., Lyu, Y., & He, G. (2020). Development of a form milling method for line gear: Principle, CNC machine, cutter, and testing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(7–8), 3469–3481. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04771-2>
11. Chen, Z. C., & Wasif, M. (2015). A generic and theoretical approach to programming and post-processing for hypoid gear machining on multi-axis CNC face-milling machines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80(1–4), 309–321. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7171-6>

12. DIHAWAG. (2022). update - La revue de client de l'entreprise (Édition 1).
13. Djamaa, M. C. (2020). Machines-outils à commande numérique [Polycopié de cours, Université 8 Mai 1945 - Guelma]. Non publié.
14. École Supérieure de Technologie. (2021). TP Tournage à Commande Numérique [Guide de travaux pratiques]. Ministère de l'Éducation Nationale et de la Formation Professionnelle, Maroc.
15. EST FES / USMBA. (n.d.). Cours Production : Machine outil a commande numérique [Matériel de cours].
16. FANUC. (n.d.). Gamme ROBOCUT  $\alpha$ -CiC : CNC de précision Machine d'électroérosion à fil. Consulté le 12 septembre 2025.
17. Flohr Industrietechnik GmbH. (n.d.). Aperçu de nos produits et services. Consulté le 12 septembre 2025.
18. Gołębski, R., & Boral, P. (2021). Study of machining of gears with regular and modified outline using CNC machine tools. *Materials*, 14(11), 2913. <https://doi.org/10.3390/ma14112913>
19. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Éducation. (1999). Fabrication mécanique, Usinage sur machines-outils à commande numérique, Programme d'études 5224. ISBN 2-550-33962-2.
20. Généralités sur les machines CNC. (n.d.). [Hamidi, C., rapport non publié]. École Nationale Supérieure des Mines de Rabat.
21. Helios Gear Products. (n.d.). Helios Hera 30, 90, 150, 200, 350, 500, K 160-Repowered, K 200-Repowered [Série de brochures de produits]. Consulté le 12 septembre 2025, sur <https://www.heliosgearproducts.com>
22. Henriot, G. (2007). Engrenages: Conception, fabrication, mise en oeuvre (8e éd.). Dunod.
23. Horn Group. (2022). Merveilles de la technique – Les engrenages [Brochure technique]. World of Tools – Technologie, 2.
24. Jacquin, C.-Y. (2001). Modélisation et optimisation du comportement sous charge des engrenages face [Thèse de doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon].



25. Kawasaki, K., Tsuji, I., & Gunbara, H. (2015). Manufacturing method of double-helical gears using CNC machining center. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 231(2), 243–250. <https://doi.org/10.1177/0954406215602288>
26. Kotlyar, Y. (2019, May). Generative gear milling. *Gear Technology*, 40–49.
27. Kowalski, A., Nguyen, P., & Lee, S. (2022). Experimental method of machining gears with an involute profile using CNC lathe with driven tools. *Materials*, 15(3), 1077. <https://doi.org/10.3390/ma15031077>
28. Koura, O. M. (2014). CNC routine for manufacturing spur gear. *Applied Mechanics and Materials*, 598, 539–545. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.598.539>
29. Li, S. (2007a). Effects of machining errors, assembly errors and tooth modifications on loading capacity, load-sharing ratio and transmission error of a pair of spur gears. *Mechanism and Machine Theory*, 42(6), 698–726. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2006.06.002>
30. Li, S. (2007b). Finite element analyses for contact strength and bending strength of a pair of spur gears with machining errors, assembly errors and tooth modifications. *Mechanism and Machine Theory*, 42(1), 88–114. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2006.02.007>
31. Litvin, F. L., & Fuentes, A. (2004). *Gear geometry and applied theory* (2nd ed.). Cambridge University Press.
32. Litvin, F. L., Fuentes, A., Zanzi, C., & Pontiggia, M. (2001). Computerized generation and simulation of meshing of modified spur and helical gears manufactured by shaving. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 190(39–40), 5037–5055.
33. Litvin, F. L., & Chen, N. X. (1994). Generation of gear tooth surfaces by application of CNC machines (NASA Contractor Report No. 195306). National Aeronautics and Space Administration.
34. Mandal, N. K., Singh, N. K., & Kumar, U. C. (2016). Interactive spur gear generation using parametric programming with CNC end milling. *International Journal of Mechatronics, Electrical and Computer Technology*, 6(22), 3172–3187.

35. Martínez-Ruedas, C., Adame-Rodríguez, F. J., & Díaz-Cabrera, J. M. (2024). Integrating and interconnecting of older SINUMERIK CNC machines with industry 4.0 using a plug-and-play system. *Journal of Industrial Information Integration*, 38, 100583. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100583>
36. McKinsey Global Institute. (2023). The future of manufacturing: The impact of advanced automation.
37. Mellah, R., & Djioua, S. (2015). Conception et réalisation d'une machine CNC [Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou]. Non publié.
38. Nieszporek, T., Piotrowski, A., Boral, P., & Potiomkin, K. (2015). Step-by-step machining of spur gears with longitudinal tooth modification. *Applied Mechanics and Materials*, 791, 272–280. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.791.272>
39. NUM. (2017, septembre). *Journal des Solutions CNC Globales* (Nr. 58).
40. Organisation internationale de normalisation. (2016). Géométrie des engrenages coniques et hypoïdes (ISO 23509:2016).
41. Özel, C. (2011). Research of production times and cutting of the spur gears by end mill in CNC milling machine. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(1–4), 203–213. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2943-5>
42. PartMFG. (2025). Guide de fabrication des engrenages : Types, processus de production et matériaux.
43. QCMT.T. (n.d.). Introduction of QC YK3132 CNC Hobbing Machine. Consulté le 12 septembre 2025.
44. Siemens. (2021). La technique allemande perfectionnée en Suisse. *insight*, 1, 18–19.
45. Siemens & S.A.B. Automatismes Industriels. (n.d.). Solution CNC Taillage d'engrenages. Consulté le 12 septembre 2025.
46. Siemens AG. (2006, July). SINUMERIK 840D sl, SINAMICS S120 - Guide for the SINUMERIK 840D sl machine configuring.
47. Simon, V. (2008). Influence of tooth errors and misalignments on tooth contact in spiral bevel gears. *Mechanism and Machine Theory*, 43(10), 1253–1267. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2007.10.007>

---

## RÉFÉRENCES

48. Skoczylas, L., & Tomczewski, L. (2013). The application of universal CNC machine tool for spur gears manufacturing. *Advances in Science and Technology – Research Journal*, 7(19), 75–78. <https://doi.org/10.5604/20804075.1062378>
49. Sobhie, N. (2015). Contribution à l'étude expérimentale et à la modélisation de l'usinage des pièces de grandes dimensions : Application au cas du taillage de dentures à la fraise-mère [Thèse de doctorat, Université de Lorraine].
50. Theurillat-Bonjour, Q. (2016). Etude des engrenages de microtechnique (Thèse n° 6890) [Thèse de doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne].
51. Uzun, M. (2014). The investigation on manufacturing time of a new type concave-convex gear by a CNC milling machine. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(5–8), 921–927. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6541-9>
52. VAPEUR 45. (2020, janvier). Fiche Technique ENGRENAGE DROIT (FPe17). <http://vapeur45.fr>

## Annexe

### Programmation en langage sinumérisk 840 D sur Mill55 :

N1 G54

N2 T2 D1 M6

N3 S1222 G97 F100 M3

N4 G0 Z80

N5 CYCLE72("CCC",2,,1,-4,4,0,0,0.2,0.2,11,41,2,5,0,2,5)

N6 G0 X0 Y0 Z0

N7 CYCLE72("DDD",2,,1,-4,4,0,0,0.2,0.2,11,42,3,1,0,3,1)

N8 G0 X0 Y0 Z0

N9 M30

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Université de Ghardaïa  
Faculté des Sciences et de la Technologie

جامعة غرداية  
كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم: الآلية... كهربوميكانيك

غرداية في: 15.1.2025

شعبة: ميكانيك  
تخصص: صيانة... صناعية

شهادة ترخيص بالتصحيح والإيداع:

أنا الاستاذ(ة) أحمد الطاهر

بصفتي المشرف المسؤول عن تصحيح مذكرة تخرج (ليسانس/ماستر/دكتورا) المعنونة بـ

Méthadologie de fabrication des engrenages destinés droit à l'aide  
d'une machine à commande numérique

من انجاز الطالب (الطالبة):

شعلان محمد

زاي عمر خال

التي نوقشت/قيمت بتاريخ: 29 أغسطس 2025

أشهد ان الطالب/الطالبة قد قام/قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا

وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة.

مصادقة رئيس القسم

امضاء المسؤول عن التصحيح



*(Signature)*