

N° d'ordre :

N° de série :

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté à

L'Université d'Echahid Mohamed Lakhdar Ammara d'El Oued

Faculté de la Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Commande Electrique

Présenté par

NESRI Nacer

BEN SALEM Elhafnaoui

Thème

Génération et implantation d'un code sur une machine CNC3D en utilisant solidworks et solidCAM autour de la carte STM32F429

Soutenu le 16/06/2021. Devant le jury composé de :

Pr. ALLAG Abdelkarim

Maitre de conférences A

Président

Dr. CHIKHA Saïd

Maitre de conférences A

Rapporteur

Dr. ALLAG Mariem

Maitre de conférences B

Examineur

Année Universitaire 2020/2021

Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier ALLAH, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Nous avons l'honneur d'exprimer notre profonde gratitude et nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidé et guidé par leurs conseils. Nous adressons nos remerciements à nos professeur encadrant Pr. Allag Abdelkrim pour leur conseils judicieux et leur grandes compétences tout au long de cette période.

Ainsi qu' à notre Université Echaahid Hama Lakhder El-oued et l'institut Africain de technologie d'El-oued.

Nos remerciement aussi tous les enseignant qui ont contribué à notre formation, et à tous mes amis de master.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvent ici l'expression de notre profondes gratitude et respects.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à

Mes parents

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes professeurs de l'Université qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Nesri Nacer

Dédicace

*Je dédie cet humble acte à deux
personnes qui me sont chères dans cette vie, mon père et ma mère. Je vous dis
merci et mille fois merci de m'avoir tant donné et de vos encouragements.*

*À mes frères et sœurs et leurs enfants à toute ma famille et à tous ceux qui
m'ont aidé en particulier.*

À tous mes amis et à tous mes professeurs.

*Pour ceux qui travaillent dans le département électrotechnique, pour tous ceux
qui m'ont aidé directement ou indirectement.*

Bensalem Elhafnaoui

طالما واجهت الصناعة الميكانيكية العديد من الصعوبات في تحقيق درجة عالية من الدقة والجودة الجيدة ، فقد قدم التحكم العددي حلاً لتقليل الأخطاء وزيادة الأداء باستخدام تقنيات جديدة في هذا المجال مثل CAD و CAM و ... ، إلخ . وهو حل برمجي يتيح للمستخدم تصميم نموذج وفحصه بالمحاكاة والتصوير ثلاثي الأبعاد للتحقق من الأخطاء وتحديد استراتيجية التصنيع المثلى.

الهدف من هذا العمل هو إنشاء وتنفيذ رمز على آلة CNC ثلاثية الأبعاد باستخدام نظام تصميم وتصنيع بمساعدة الكمبيوتر SolidWorks و SolidCam حول بطاقة STM32f429 باستخدام البرنامج الثابت Grbl.

الكلمات المفتاحية : التحكم العددي ، التصميم والصناعة بمساعدة الاعلام الالي ،استراتيجية التصنيع، البرنامج الثابت .

Résumé

Tant que l'industrie mécanique a rencontré beaucoup de difficultés pour atteindre un haut degré de précision et de bonne qualité, la commande numérique a apporté des solutions pour réduire les erreurs et augmenter les performances en utilisant les nouvelles technologies dans ce domaine comme CAO,FAO,CFAO ... 'etc., qui est une solution logicielle permettant à l'utilisateur de concevoir son modèle et de l'examiner par simulation et visualisation 3D pour vérifier les erreurs et déterminer la stratégie optimale .

L'objectif de ce travail est la génération et l'implémentation d'une code sur machine CNC 3D par l'utilisation d'un système de conception et fabrication assistées par ordinateur (SolidWorks et solidCam) autour de la carte STM32f429 à l'aide d'une système d'interpréteur Grbl .

Mots clés: CNC 3D, CAO, FAO, CFAO, Stratégie d'usinage la carte STM32f429.

Abstract

As long as, mechanical industry faced a lot of difficulties to reach a high degree of precision and good quality . as a result , numerical control brought solutions to reduce errors and increase the performance by using new technologies in this field such as CAM ,CAD.. . 'etc. which is a software solution allows to the user design his model and examine it by simulation and 3D visualization to check errors and determine the optimal strategy .

The objective of this work is the generation and implementation of a code on a 3D CNC machine by the use of a computer-aided design and manufacturing system (SolidWorks and solidCam) around the STM32f429 card using of a Grbl interpreter system.

Key works: CNC 3D, CAD, CAM, Machining strategy, Grbl interpreter, STM32f429 card.

Sommaire

Liste des figures.....:.....:	VIII
Liste des tableaux:.....:	XI
Liste des symboles et abréviations	XII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralité sur Les Machine à Commande Numérique par Calculateur (CNC)

I.1.Introduction	4
I.2 Historique	4
I.3.Définition de la commande numérique.....	5
I.4.Définition d'une machine CNC	5
I.6.Principe de fonctionnement	7
I.8. Classification des machines CNC.....	8
I.8.1. Classification des CNC selon le mode de fonctionnement:	8
I.8.2. Classification des CNC selon le mode d'usinage.....	9
I.9. Les différents types de Machines CNC	11
I.10. Domaine d'utilisation	11
I.11.Conclusion.....	13

Chapitre II : Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

II.1.Introduction.....	15
II.2.Définition de la CAO.....	15
II.3.Qu'est-ce que SolidWorks ?.....	15
II.4.Commandes SolidWorks	16
II.4.1.Commandes d'esquisse	16
II.4.2.Commandes de fonctionnalités	18
II.4.3.Commandes d'évaluation	20
II.4.4.Commandes DimXpert	21

II.4.5.Commandes de SolidWorks Office	21
II.5.Avantge Solidworks	22
II.6.Procédures de conceptions des géométries (gravure).....	22
II.7.Conclusion.....	26

Chapitre III : Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)

III.1.Introduction.....	28
III.2.Définition de la FAO	28
III.3. Les fichiers G-code	28
II.3.1.Le fonctionnement du G-Code.....	29
II.3.3.Codes Spéciaux	30
III.4. SolidCAM.....	30
III.4.1. Définition SolidCAM	30
III.4.2. Stratégies d'usinage:.....	31
III.4.2.1. Ebauche de Contour:.....	32
III.4.2.2. Ebauche de repos:	32
III.4.2.3. Usinage hélicoïdal.....	33
III.4.2.4. Usinage horizontal	34
III.4.2.5. Usinage linéaire	34
III.4.2.6. Usinage radial	35
III.4.2.7. Usinage en spiral.....	35
III.5. CAMWorks.....	36
III.5.1. Définition CAMWorks	36
III.5.2. Différentes stratégies d'usinage pour CAMWorks	36
III.5.2.1. Spiral Out	36
III.5.2.2. Spiral In	36
III.5.2.3. Zigzag	37
III.5.2.4. Zig	37
III.5.2.5. Pocket In	37

III.5.2.6. Pocket Out.....	38
III.5.2.7. Plunge Rough.....	38
III.5.3. Aperçu du processus pour CAMWorks.....	38
III.6. Conclusion.....	46

Chapitre IV : La carte STM32F429 et firmware Grbl

IV.1. Introduction.....	48
IV.2. La carte STM32F429	48
IV.3. STM32CubeMx.....	49
IV.3.1. Définition de STM32CubeMx.....	49
IV.3.3. Les principales pages de configuration STM32CubeMX	49
IV.3.3.1. Page d'accueil de STM32CubeMX.....	49
IV.3.3.2. La fenêtre de nouveau projet	50
IV.3.3.3. La fenêtre principale :	51
IV.4. STM32CubeProgrammer	51
IV.4.1. Définition de STM32CubeProgrammer	51
IV.4.2. Interface utilisateur STM32CubeProgrammer pour MCUs	51
IV.4.2.1. La fenêtre principale	51
IV.4.2.1.1. Main menu	52
IV.4.2.1.2. Panneau de configuration de la cible	53
IV.5. Définition de Grbl.....	56
IV.6. Connecter Grbl à la carte STM32	57
IV.7. Conclusion.....	60
Conclusion générale	61
Liste des références	63

Liste des Figures

Chapitre I : Généralité sur Les Machine à Commande Numérique par Calculateur (CNC)

Figure I.1: Première machine-outil à commande numérique	5
Figure I.2: Fonction originale d'une commande numérique	7
Figure I.3: Fonctionnement en boucle ouvert	8
Figure I.4: Commande adaptative	9
Figure I.5: Commande en boucle fermée	9
Figure I.6: Commande Numérique Point A Point	10
Figure I.7: Commande Par axiale	10
Figure I.8: Commande numérique de contournage	11
Figure I.9: Domaine d'utilisation des M.O.C.N	12

Chapitre II : Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Figure II.1: le logo du logiciel SolidWorks	15
Figure II.2: Barre d'outils Commandes d'esquisse	16
Figure II.3: Outils d'esquisse	18
Figure II.4: Barre d'outils de commande des fonctionnalités	18
Figure II.5: Barre d'outils d'évaluation des commandes	20
Figure II.6: Barre d'outils d'évaluation des commandes	21
Figure II.7: Barre d'outils des commandes de SolidWorks Office	22
Figure.II.8: Choix du plan et ouverture de nouvelle Esquisse	23
Figure II.9: La fonction Base/bossage extrudé du rectangle	24
Figure II.10: Rectangle en 3D	24
Figure II.11: Eléments composants de contour externe du logo	25
Figure II.12: Contour externe gravé sur la face avant de la pièce	25

Chapitre III : Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)

Figure III.1: Différentes stratégie pour SolidCAM	31
Figure III.2: Stratégie ébauche de contour	32
Figure III.3: Une opération d'ébauche sans repos	32
Figure III.4: Une opération d'ébauche avec repos	33
Figure III.5: Stratégie d'usinage hélicoïdal	33
Figure III.6: Stratégie d'usinage horizontal	34
Figure III.7: Stratégie d'usinage linéaire	34
Figure III.8: Stratégie d'usinage radial	35
Figure III.9: Stratégie d'usinage en spirale	35
Figure III.10: Parcours d'outil en Spiral Out	36
Figure III.11: Parcours d'outil en Spiral In	36
Figure III.12: Parcours d'outil en Zigzag	37
Figure III.13: Parcours d'outil en Zig	37
Figure III.14: Parcours d'outil en Pocket In	37
Figure III.15: Parcours d'outil en Pocket Out	38
Figure III.16: Parcours d'outil en Plunge Rough	38
Figure III.17: pièce dans le SolidWorks	39
Figure III.18: ouvrir l'outil SolidCAM	40
Figure III.19: définir le stock ou le matériau	41
Figure III.20: Numéros de code GC	42
Figure III.21: Exemple matériau de travail	42
Figure III.22: Mise en place " Pocket Milling Operation"	43
Figure III.23: Paramètres de l'outil	44
Figure III.24 : Simulation de découpage du pièce	45
Figure III.25: Exporter le fichier de G-code	45
Figure III.26: Sample G-Code	46

Chapitre IV : La carte STM32F429 et firmware Grbl

Figure IV.1: Carte découverte STM32F429	48
Figure IV.2 : Page d'accueil du STM32CubeMX	50
Figure IV.3: La fenêtre de nouveau projet.	50
Figure IV.4 : la fenêtre principale de STM32CubeMX	51
Figure IV.5: Fenêtre principale du STM32CubeProgrammer	52
Figure IV.6 : Menu principal élargi	52
Figure IV.7: Panneau de configuration de ST-LINK	53
Figure IV.8 : Panneau de configuration de l'UART	55
Figure IV.9: Panneau de configuration USB	56
Figure IV.10: Menu principale de GRBL	56
Figure IV.11: diagramme de connexion st-link V2 avec la carte STM32	57
Figure IV.12: STM32CubeProrammer	57
Figure IV.13: connectée STM32CubeProrammer avec la carte STM32 et sélectionner le fichier hex	58
Figure IV.14: sélectionner le fichier hex dans la carte STM32	59

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralité sur Les Machine à Commande Numérique par Calculateur (CNC)

Tableau.I.1: la structure générale des CNC 6

Chapitre III : Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)

Tableau III.1: Common Fanuc G- Codes 29

Liste des symboles et abréviations

CN	Commande Numérique
CNC	Commande Numérique par Calculateur
CAD	Computer aided manufacturing
CAM	Computer aided design
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CFAO	Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
DNC	Direct numérique contrôle
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur
FNAUC	Codes Spéciaux de G-code
G-code	Langage de programmation pour les machine CNC
Grbl	est un logiciel libre fonctionnant sur des cartes à microcontrôleur
MMC	Machine de Mesure des Coordonnées
MOCN	Machine-Outil à Commande Numérique
NUM	Codes Spéciaux de G-code
ISO	International Standard Organization

Introduction générale

Introduction générale

Aujourd'hui, les machines à commande numérique par ordinateur (CNC) permettent une production économique et rentable car le contrôle des coûts reste une préoccupation importante.

Le développement industriel qui avait débuté par la création des outils de l'industrie traditionnelle et autres, et ensuite ces outils furent développés en machines semi-automatiques puis en machines automatiques qui fonctionnaient à l'aide d'ordinateur et programmes spéciaux en transférant les instructions de la partie commande vers la partie opérationnelle de la machine.

L'existence des cartes électroniques programmables comme l'Arduino, STM32, le DSP, ..etc. permet de commander et contrôler n'importe quel système ou machine tel que les CNC.

Notre projet est " Généré et implanté un code sur une machine CNC3D en utilisant SolidWorks et SolidCAM autour de la carte STM32F429 ".

Le travail est structuré comme suit:

Le premier chapitre, traite des généralités sur la commande numérique et leur parcours de développement, ainsi que la décomposition générale (partie opérative et partie commande...) d'une machine outil à commande numérique, son principe de fonctionnement, différents types et les domaines d'utilisations.

Le deuxième chapitre, présente la conception assistée par ordinateur et un logiciel de CAO qui est " SolidWorks ", Ce programme est parmi les plus couramment utilisés par les concepteurs dans le domaine de la simulation et la visualisation 3D.

Le troisième chapitre, va consacrer à la Fabrication Assistée par Ordinateur, ainsi que les logiciels "Solidcam" et " Camworks ", ce sont deux importants logiciels pour faire la simulation 3D et d'obtenir le G-code.

Dans le quatrième chapitre, nous allons nous concentrer sur la carte STM32F429, STM32CubeMX et STM32CubeProgrammer, ensuite le logiciel de firmware Grbl et comment configurer le Grbl avec la carte STM32.

Enfin, on clôture notre travail avec une conclusion générale.

**Chapitre I : Généralité sur Les
Machine à Commande
Numérique par Calculateur
(CNC)**

I.1.Introduction

La fabrication utilisant la technologie des machines CNC est déjà entrain de révolutionner , elle fournit à l'utilisateur des solutions logiciels et Matériels dans la conception et la fabrication mécanique .

Grâce à la développement de la commande numérique (CN) , la fabrication atteindre une haute degré de la précision du position de découpage .

Dans ce chapitre on présente des généralités sur la commande numérique et les machines à commande numérique par calculateur , tel que la technologie des CNC , leur structure générale (partie opérative et partie commande....) , différents types et les domaines d'utilisations .

I.2 Historique

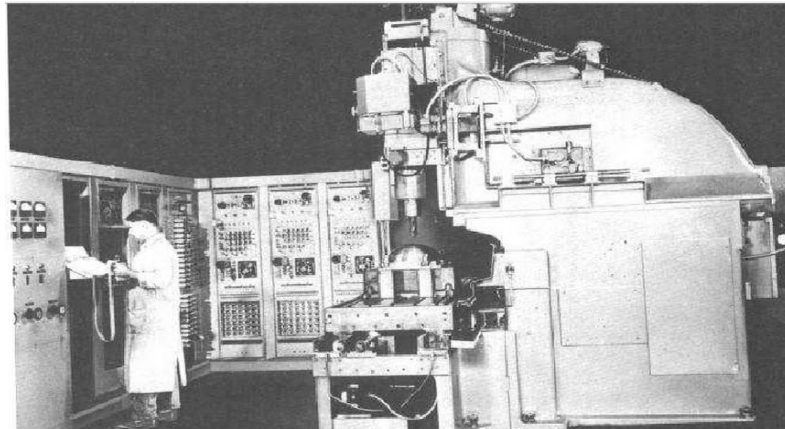
Les travaux menés par Falcon et jacquard à la fin du XVII siècle ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par un carton perforé. Leur métier à tisser de 1805 fut le premier équipement à être doté de cette technique et, de ce point de vue, il peut être considéré comme l'ancêtre. Il faut cependant rattacher l'exploitation industrielle de la CN au développement de l'électronique.

En 1947, à Traverse City dans l'Etat du Michigan, John Parsons fabrique pour le compte de l'US air force dans pales d'hélicoptère par reproduction. Pour façonner ses gabarits, il utilise une méthode consistant à percer plusieurs centaines de trous faiblement espacés de manière à approcher le profil théorique.

L'emplacement et la profondeur de chaque trou sont calculés avec précision par un ordinateur IBM à cartes perforées. La finition de la surface est obtenue par des opérations manuelles de polissage.

Mais, lorsque l'US Air Force confie à ce même Parsons la réalisation de pièces de formes encore plus complexes pour ses futurs avions supersoniques, celui-ci réalise que sa méthode est trop approximative et que seul un usinage continu en 3 dimension sera en mesure de donner satisfaction

Au printemps 1949, il confie alors au Massachusetts Institute of Technologie (MIT) le soin de développer des asservissements capables de piloter une machine qui recevra des instructions intermittentes à partir d'un lecteur de cartes.

Figure I.1: Première machine-outil à commande numérique

[2]

Cette machine, une fraiseuse prototype Cincinnati à broche verticale (**Fig I.1**). Conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre 1952 dans le Servomechanisms laboratory du MIT. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne de "numerical control ". Il aurait tout aussi bien s'appeler commande symbolique [1].

I.3.Définition de la commande numérique

La commande numérique est un mode de commande dans lequel les valeurs désirées d'une variable commandée sont définies selon un code numérique (la machine-outil constitue le principal domaine d'application de la commande numérique).

C'est une somme d'automatismes dans laquelle les ordres de mouvement ou de déplacement, la vitesse de ces déplacements et leur précision, sont donnés à partir d'informations numériques. Ces informations sont codées sur des supports tels que : rubans perforés, cassettes ou disquettes magnétiques ou simplement sauvegardés en « mémoire » dans le cas des dernières générations de commandes numériques à calculateur intégré (CNC) [2].

I.4.Définition d'une machine CNC

C'est un système de contrôle numérique ajouté suivi d'un ordinateur avec une mémoire pour enregistrer des programmes qui n'est pas séparé de la machine.

L'ordinateur dispose d'une unité de commande de la machine (MCU) qui réalise traitement du programme d'exploitation et comparaison avec les mouvements généraux dont la machine est capable l'unité de contrôle contient un logiciel (Soft Ware) , qui stocke les pilotes afin qu'ils ne

soient pas supprimés . Lorsque la machine cesse de fonctionner, le programme peut être redémarré à plusieurs reprises pour obtenir des milliers d'artefacts manufacturés et l'ordinateur dispose d'un clavier avec des lettres et des chiffres à saisir Knuckle, qui est équipé d'un écran qui affiche le système d'exploitation et la trajectoire de l'outil[3].

I.5.Structure générale des CNC

La constitution des machines à commande numérique par ordinateur a connu un développement continu et on peut dire que ces organes ont été complètement révolutionnés pour s'adapter à l'accroissement permanent et exigeant de l'industrie moderne. La machine-outil à commande numérique forme un ensemble comprenant :

- ✓ Une partie commande ;
- ✓ Une partie opérative ;
- ✓ Une carte de puissance.

Tableau.I.1: la structure générale des CNC

La partie commande	La partie opérative	La carte de puissance
<p>Différente d'une machine conventionnelle et constituée d'une armoire dans laquelle on trouve :</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Le pupitre permettant de rentrer les commandes à l'aide d'un clavier, ❖ Le lecteur de données (ce lecteur peut être une option lors de l'achat de la machine), ❖ La sortie RS 232 pour les liaisons avec les Périphériques externes, ❖ L'écran de visualisation de 	<p>Les mouvements sont commandés par des moteurs presque comparables à une machine outil classique, et elle comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Une base, assurant l'indépendance de la machine au sol, ❖ Un bâti, dont les larges glissières sont en acier traité, ❖ un support outil (broche, torche, laser, jet d'eau ...), ❖ Une table support pièce, mobile selon 2 ou 3 axes, équipée de système de 	<p>Elle permet de transmettre l'énergie électrique aux moteurs, en effectuant toutes les opérations de conversion des différents signaux de puissance à fin d'obtenir le mouvement souhaité.</p>

<p>toutes les données enregistrées,</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Le calculateur, les cartes électroniques (commandes d'axes, mémoire ...). ❖ La partie commande est alimentée par un courant faible et ne peut donc pas alimenter directement les moteurs de la machine (voir schémas ci-dessous). 	<p>commande à vis et écrou à bille.</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ des moteurs chargés de l'entraînement de la table, ❖ Un élément de mesure ou capteur de position renseignant à tout moment sur la position du mobile sur chaque axe, ❖ Une dynamo tachymétrique assurant la mesure de la vitesse de rotation 	
--	--	--

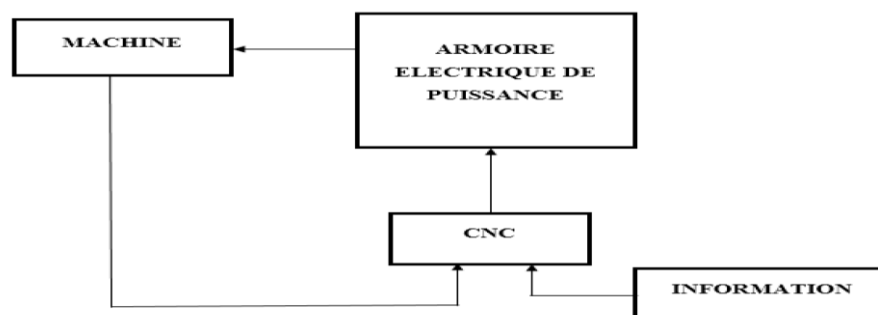
I.6.Principe de fonctionnement [5]

La machine CNC travaille avec des systèmes de contrôles en boucle fermée. Des ordres vont être générés vers la commande par le biais d'un programme pièce ou par action manuelle de l'opérateur.

La commande va traiter ces informations et générer des consignes afin d'obtenir les déplacements voulus par le biais des moteurs d'axes. Des contrôles de vitesse et de position seront alors effectués de manière continue par la machine.

La position sera régulée par la commande numérique alors que la vitesse sera le plus souvent régulée par le système d'asservissement moteur. On se trouve donc en face d'un système à deux boucles et l'on parle de système asservi.

Figure I.2: Fonction originale d'une commande numérique.



[5]

I.8. Classification des machines CNC

Les machines-outils à commande numérique par calculateurs (CNC) sont classées suivant :

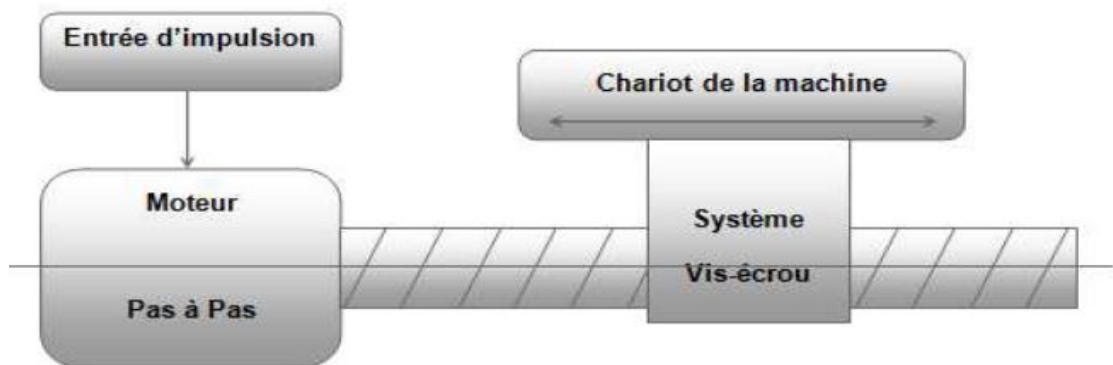
- ❖ Le mode de fonctionnement de la machine.
- ❖ Le mode d'usinage.

I.8.1. Classification des CNC selon le mode de fonctionnement:

A. Fonctionnement en boucle ouvert: [5]

En boucle ouverte, comme l'illustre la figure. I.3, le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas.

Figure I.3: Fonctionnement en boucle ouvert



[7]

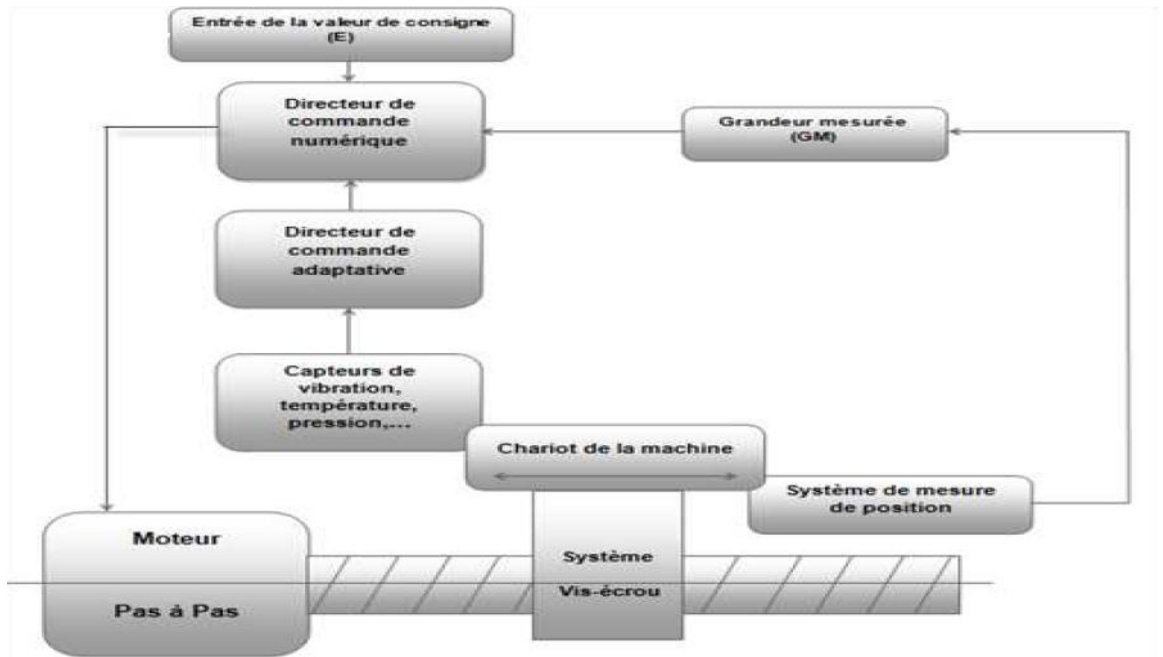
B. Fonctionnement avec commande adaptative: [5]

La commande adaptative réalise d'une façon continue et automatique l'adaptation des conditions de coupe.

Des capteurs relèvent les valeurs de couple de la broche, l'amplitude de vibration de la broche, la température au point de coupe.

Ces informations sont transmises à une unité spéciale qui les envoie vers le directeur de commande numérique qui agit selon l'analyse des informations sur les conditions de coupe pour permettre une meilleure qualité de travail, une meilleure productivité et une plus grande sécurité.

Figure I.4: Commande adaptative.

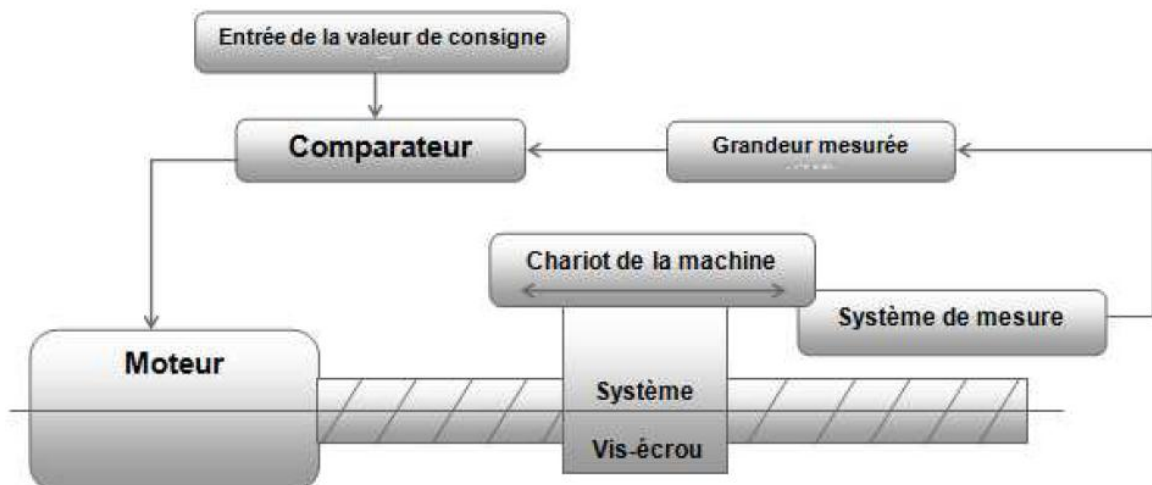


[7]

C. Fonctionnement en boucle fermé: [5]

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (Gm). comme illustre la figure.I.5.

Figure .I.5: Commande en boucle fermée.



1.8.2. Classification des CNC selon le mode d'usinage [5]

Selon le mode d'usinage on peut classer les CNC en trois catégories :

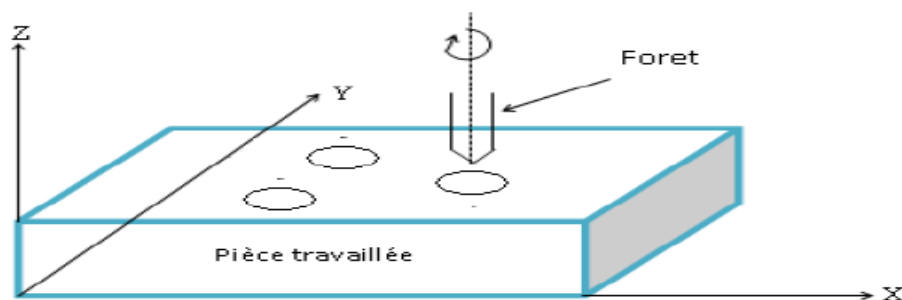
- ❖ Commande numérique point à point

- ❖ Commande numérique par axiale
- ❖ Commande numérique de contournage

A. Commande numérique point à point :

c'est la mise en position de l'outil ou de la pièce par déplacements non synchronisés. Le mouvement de coupe (usinage) n'est possible que lorsque le mouvement de positionnement est effectué. - Exemples d'opération d'usinage : perçage, alésage, lamage taraudage, petit fraisage.

Figure I.6: Commande Numérique Point A Point.

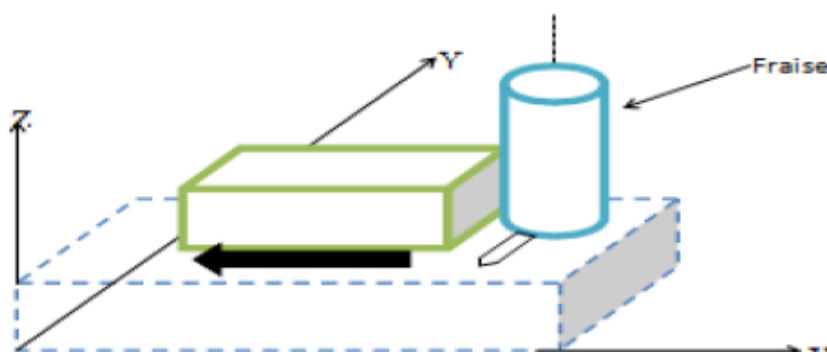


B. Commande numérique par axiale :

Ce sont des déplacements parallèles aux axes avec , les vitesses d'avance programmée. Le mouvement de coupe et de positionnement sont synchronisés de façon à avoir un usinage selon des trajectoires parallèles aux axes de déplacement.

- Exemples d'opération d'usinage : tournage, fraisage, alésage.

Figure I.7: Commande Par axiale.

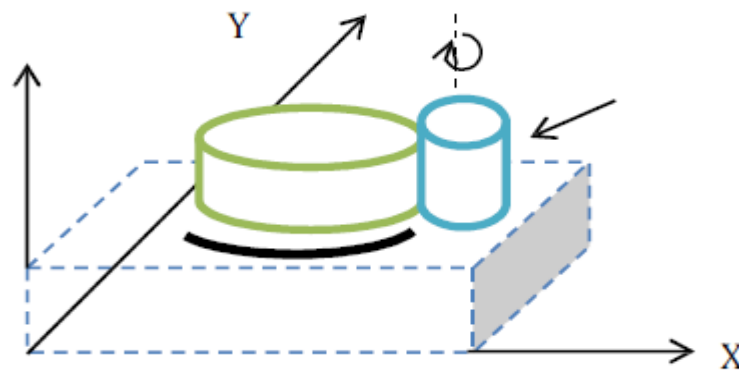


C. Commande numérique de contournage

Ce sont des déplacements qui synchronisent des divers axes avec la vitesse d'avancement programmée les trajectoires sont décomposées en éléments de droites ou de cercles dans un ou plusieurs plans .

exemple d'opération d'usinage toujours possible sur un centre de tournage pour un centre d'usinage .

Figure I.8: Commande numérique de contournage.



I.9. Les différents types de Machines CNC

On distingue plusieurs types de machines :

- ❖ les machines à enlèvement de copeaux : les perceuses, les tours, les centres de tournage, les fraiseuses, les centres d'usinage, les rectifieusesetc.
- ❖ les électroérosions : les machines à enfonçages, les machines à fil.
- ❖ les machines de découpes : oxycoupage, laser, jet d'eau...
- ❖ les presses : métal, injection plastique.
- ❖ les machines spéciales : à panneaux, à têtes multiples, de conditionnement (pour l'agroalimentaire)...

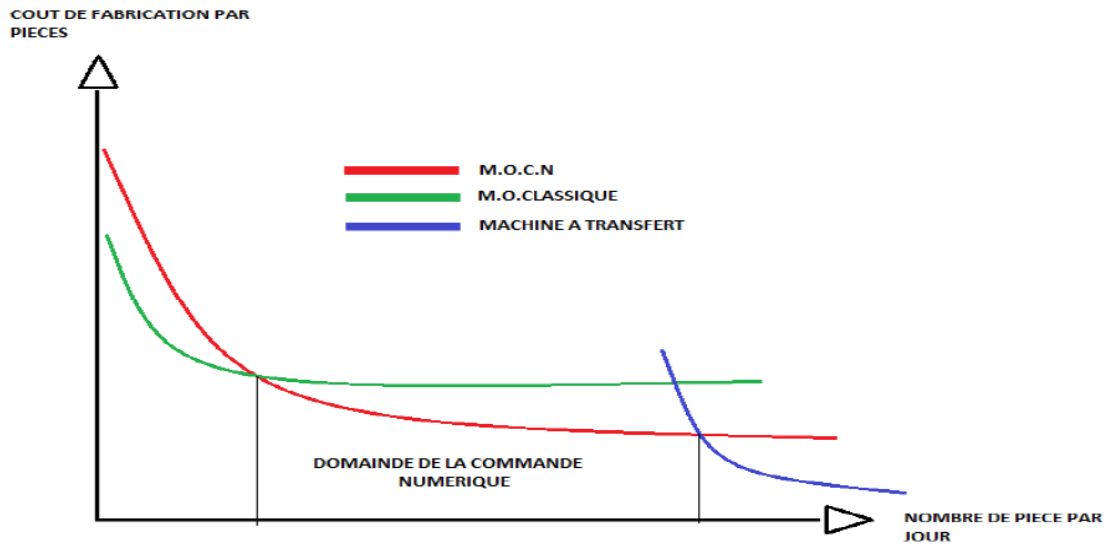
I.10. Domaine d'utilisation

Les M.OCN conviennent à la fabrication en petites et moyennes séries renouvelables. Elles permettent la réalisation, sans démontage, de pièces complexes comportant beaucoup d'opérations d'usinage [6] .

Elles se situent entre les machines conventionnelles très "flexibles" réservées aux

travaux unitaires (prototypes, maintenance) et les machines transferts, très productives, réservées aux grandes séries [2].

Figure.I.9: Domaine d'utilisation des M.O.C.N.



[5]

I.11.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une recherche bibliographique sur le machine à commande numérique par ordinateur (CNC) .

Tout d'abord , nous avons donné une vue générale sur le historique de développement de cette machine , la commande numérique par ordinateur et la définition de la machine CNC et la commande numérique .

En suite , nous avons montré le principe de fonctionnement , la classification des machine CNC , leur différent type et les domaines d'utilisations .

Dans le chapitre suivante , nous allons voir le logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) "Solid Works ".

**Chapitre II : Conception
Assistée par Ordinateur
(CAO)**

II.1.Introduction

Des nombreux logiciels CAO sont disponible sur le marché , Ces programmes sont des outils informatique qui permettent de réalisé un modélisation géométrique d'un objet .

Dans ce chapitre nous allons présent un logiciels de CAO qui est " **SolidWorks** " , Ce programme est parmi les plus couramment utilisé par les concepteurs dans le domaine de la simulation et la visualisation 3D .

II.2.Définition de la CAO [8]

La conception assistée par ordinateur, ou CAO, rassemble des outils informatiques (logiciels et matériels) qui permettent de réaliser une modélisation géométrique d'un objet afin de pouvoir simuler des tests en vue d'une fabrication.

La CAO offre une visibilité globale du comportement d'un objet avant qu'il n'existe, tant au niveau de son aspect que de sa structure et de son fonctionnement. Les objets peuvent être représentés en deux ou en trois dimensions (2D ou 3D). Leur apparence peut être filaire, volumique, surfacique, elle peut aussi simuler la texture.

II.3.Qu'est-ce que SolidWorks ?[9]

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks est racheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes.

SolidWorks est un modelleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveaux que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés. Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

Figure II.1: le logo du logiciel SolidWorks.



II.4.Commandes SolidWorks [10]

Cette section présente les cinq principaux groupes de commandes SolidWorks. Ils sont organisés en cinq sections distinctes, à savoir: les commandes d'esquisse, les commandes de fonctionnalités, les commandes d'évaluation, les commandes DimXpert et les commandes SolidWorks Office.

Le but de cette disposition est d'aider les étudiants à les trouver et à les localiser facilement. Les étudiants sont encouragés à pratiquer ces commandes sur une base régulière au fur et à mesure que la pratique se perfectionne. De nombreuses vidéos U-tube sont également incluses ici pour aider les étudiants à voir comment diverses tâches et commandes sont utilisées dans SolidWorks.

II.4.1.Commandes d'esquisse:

Ce sont des commandes utilisées pour dessiner et coter diverses formes et géométries dans SolidWorks. La figure 2 montre la barre d'outils Sketch, tandis que la figure 2 montre une liste complète de toutes les commandes Sketch.

Figure II.2: Barre d'outils Commandes d'esquisse

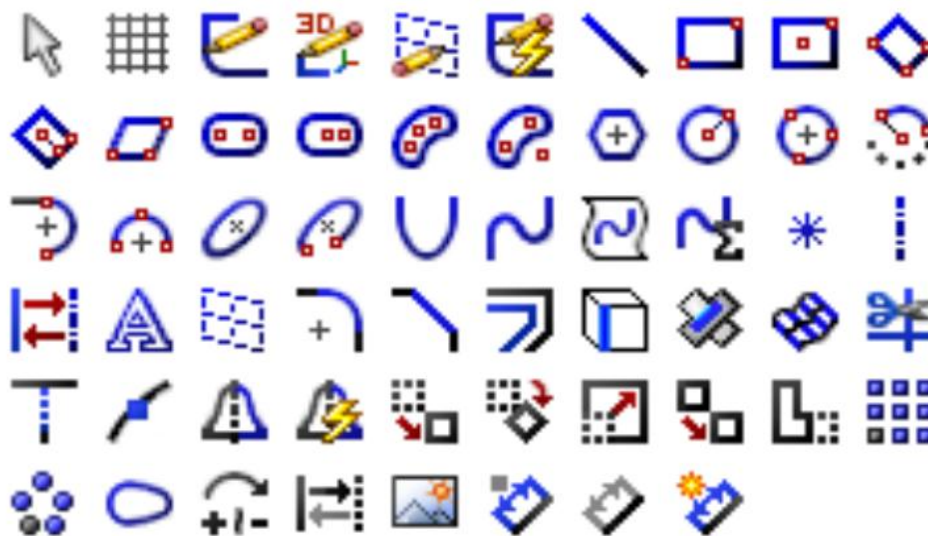


❖ Outils disponibles:

- ✓ Modifier l'esquisse: esquisse, esquisse 3D et éditer l'esquisse
- ✓ Cotes intelligentes: cotes intelligentes, horizontales, verticales, ordonnées, ordonnées horizontales, ordonnées verticales.
- ✓ Outils d'esquisse:
- ✓ Ligne –Ligne, Rectangles de ligne centrale: coin, centre, coin à 3 points, polygone à parallélogramme central à 3 points
- ✓ Cercle: cercle, cercle de périmètre
- ✓ Arc: Arc à 3 points, Arc de point central, Arc tangent
- ✓ Congé: congé d'esquisse, chanfrein d'esquisse

- ✓ Spline
- ✓ Ellipse: Ellipse, Ellipse partielle, Parabole
- ✓ Point
- ✓ Avion
- ✓ Texte
- ✓ Ajuster les entités: Ajuster les entités, étendre les entités
- ✓ Convertir des entités: convertir des entités, courbe d'intersection
- ✓ Entités de décalage
- ✓ Entités miroir
- ✓ Motif d'esquisse linéaire: motif d'esquisse linéaire, motif d'esquisse circulaire
- ✓ Déplacer les entités: déplacer, copier, faire pivoter, mettre à l'échelle les entités
- ✓ Afficher / supprimer des relations: afficher / supprimer des relations, ajouter des relations
- ✓ Accrochages rapides: point, point central, point médian, quadrant, intersection, le plus proche, point H / V, accrochage à la grille Croquis rapide.
- ✓ Voir les origines
- ✓ Voir les avions
- ✓ Afficher les axes temporaires

Figure II.3: Outils d'esquisse



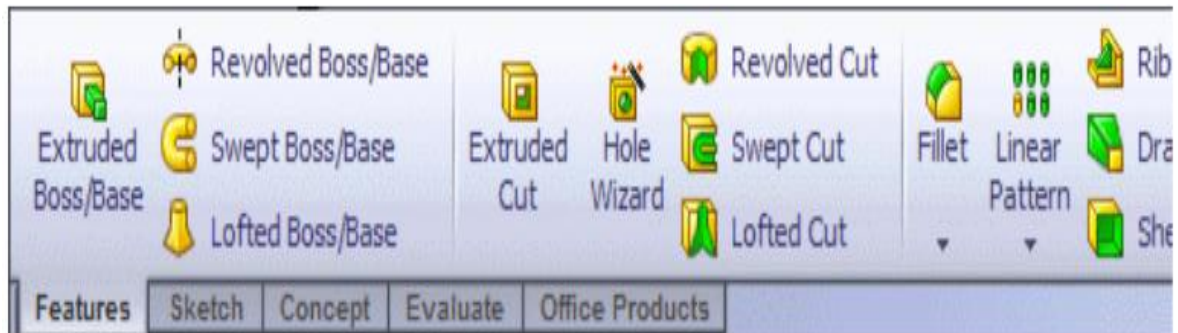
Passez en revue les outils répertoriés ci-dessus disponibles dans la commande Esquisse et essayez de les identifier dans la figure 2. Utilisez votre souris pour identifier chacune des commandes et notez leur signification et les fonctions qu'elles exécutent. Plus vous vous

familiariserez avec leur utilisation et leur reconnaissance, plus vous deviendrez un concepteur compétent [10].

II.4.2. Commandes de fonctionnalités:

Ce sont des commandes utilisées pour ajouter des caractéristiques et des tailles tridimensionnelles aux conceptions. La figure 4 montre la barre d'outils Fonctionnalités

Figure II.4: Barre d'outils de commande des fonctionnalités



❖ **Outils disponibles:**

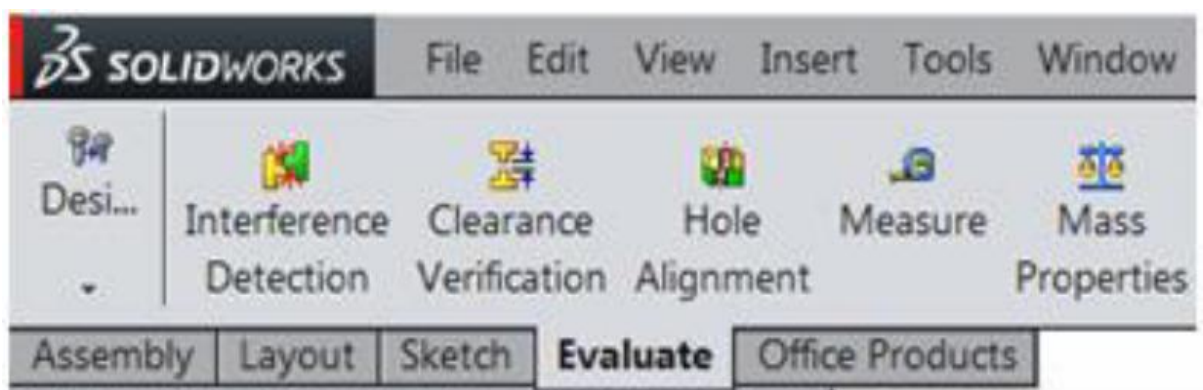
- ✓ Bossage / Base extrudé
- ✓ Boss / Base révolutionné
- ✓ Boss balayé / base
- ✓ Boss / Base lissée
- ✓ Coupe extrudée
- ✓ Assistant de perçage
- ✓ Coupe révolutionnaire
- ✓ Coupe balayée
- ✓ Coupe lissée
- ✓ Congé: Congé, Chanfrein
- ✓ Motif linéaire: motif linéaire, motif circulaire, miroir, motif piloté par courbe, motif piloté par esquisse, motif piloté par table, motif de remplissage
- ✓ Nervure
- ✓ Brouillon
- ✓ Coquille
- ✓ Envelopper
- ✓ Dôme
- ✓ Miroir

- ✓ Géométrie de référence: plan, axe, système de coordonnées, point, contraintes de référence
- ✓ Courbes: ligne de division, courbe composite, courbe passant par les points XYZ, courbe passant par les points de référence, hélice et spirale
- ✓ Vue 3D instantanée
- ✓ Orientation Transparent
- ✓ Barre d'outils:
- ✓ Vue précédente
- ✓ Normal pour Vue en coupe
- ✓ Vues avant, gauche, droite, haut, bas, isométriques
- ✓ Orientation de la vue: Haut, Isométrique, Trimétrique, Dimétrique, Gauche, Avant, Droite, Arrière, Bas, Normal à, Vue unique, Deux vues horizontales, Deux vues verticales, Quatre vues, Lier des vues .
- ✓ Style d'affichage: ombré avec bords, ombré, lignes cachées supprimées, lignes cachées visibles, cadre en fil de fer .
- ✓ Masquer / afficher les éléments: plan, origines, axes, axes temporaires, système de coordonnées, points, courbes, lignes de séparation, cotes d'esquisse 3D, toutes les annotations, esquisses, plan d'esquisse 3D, relations d'esquisse, grille, lumières, caméras, points de routage.
- ✓ Graphiques RealView
- ✓ Ombres en mode ombré

II.4.3. Commandes d'évaluation:

Ce sont des commandes utilisées pour effectuer une analyse afin de déterminer diverses caractéristiques physiques et mécaniques de la conception. La figure 5 montre la barre d'outils Évaluer.

Figure II.5: Barre d'outils d'évaluation des commandes



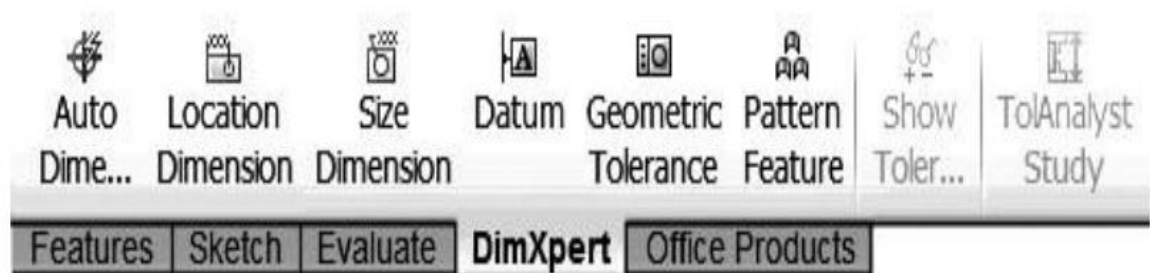
❖ **Outils disponibles:**

- ✓ Mesurer / Propriétés de masse / Propriétés de la section .
- ✓ Statistiques / Vérifier / Importer la guérison des diagnostics .
- ✓ Bords / Analyse des écarts / Rayures zébrées .
- ✓ Courbure / Analyse du brouillon / Détection de contre-dépouille / Équations .
- ✓ Assistant d'analyse COSMOSXpress .
- ✓ Assistant d'analyse COSMOSFloXpress .
- ✓ Assistant d'analyse DFMXpress .
- ✓ Assistant DriveWorksXpress .

II.4.4. Commandes DimXpert :

Ces commandes sont les agents de cotation de SolidWorks. Ils permettent le dimensionnement et le tolérancement de vos pièces modélisées. La figure 6 montre la barre d'outils DimXpert.

Figure II.6: Barre d'outils d'évaluation des commandes

❖ **Les outils disponibles comprennent:**

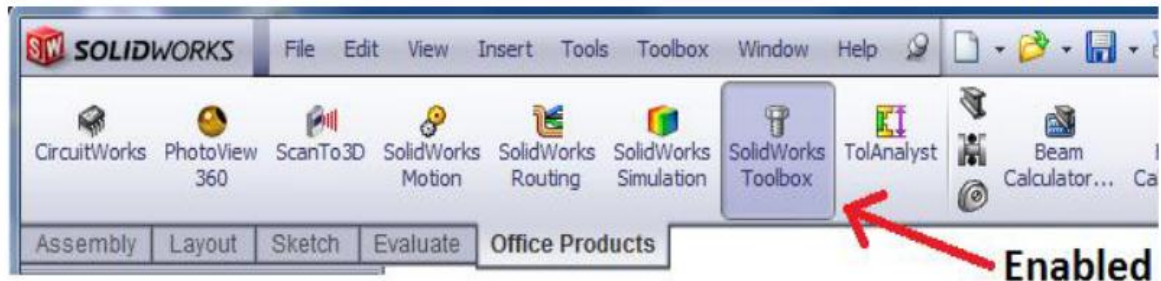
- ✓ Dimension automatique
- ✓ Dimension de l'emplacement
- ✓ Dimension de la taille
- ✓ Données
- ✓ Tolérance géométrique / Caractéristique de modèle
- ✓ Afficher les tolérances
- ✓ Étude TolAnalyst

II.4.5. Commandes de SolidWorks Office:

Les commandes de SolidWorks Office répertorient la plupart des compléments couramment utilisés avec ceux activés indiqués par le surlignage rectangulaire gris standard «bouton-poussoir» comme illustré à la Figure 7. L'onglet Produits Office vous permet de charger

des fonctionnalités supplémentaires disponibles si vous avez installé SolidWorks Professionnel ou SolidWorks Premium.

Figure II.7: Barre d'outils des commandes de SolidWorks Office.



❖ **Les outils disponibles comprennent:**

- ✓ Vérificateur de conception .
- ✓ Simulation SolidWorks / Mouvement SolidWorks / Boîte à outils SolidWorks .
- ✓ Utilitaires SolidWorks .
- ✓ PhotoWorks / Numériser vers 3D .
- ✓ CircuitWorks .
- ✓ Site Web instantané 3D .

II.5. Avantages Solidworks [19]

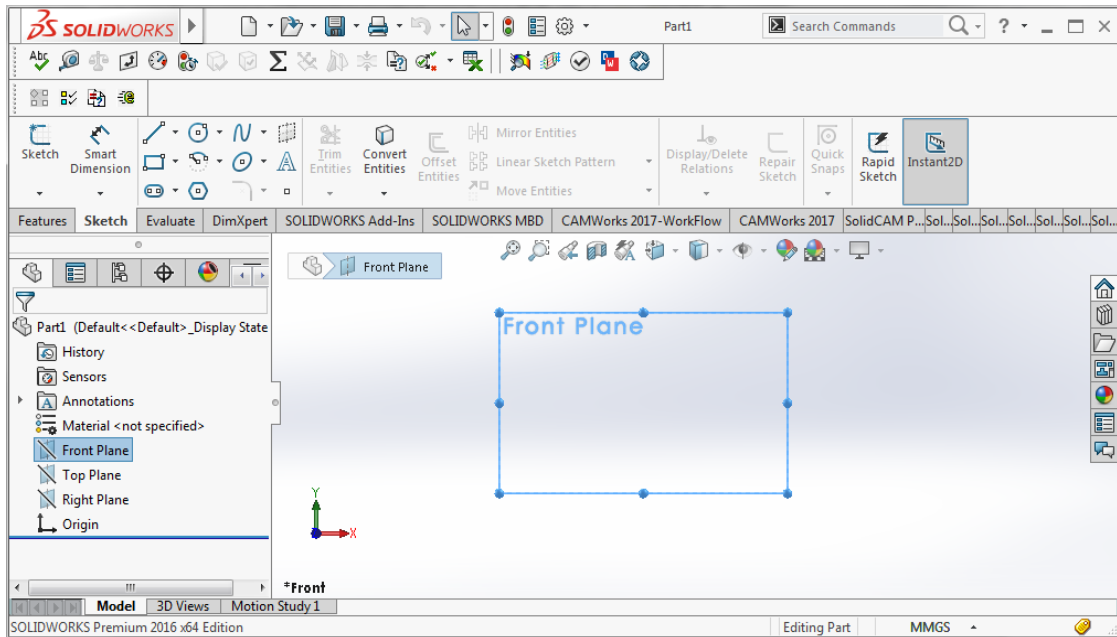
- ✓ Solidworks est facile à modéliser, animer et tester.
- ✓ Le premier programme dans son domaine, spécialisé dans la conception de modèles géométriques tridimensionnels.
- ✓ Fournit une solution intégrée pour visualiser les conceptions d'ingénierie dans un aspect 3D réaliste au maximum.
- ✓ C'est le simulateur parfait qui vous aidera à créer une vue plus claire de vos conceptions et inventions d'ingénierie et facilitera considérablement votre travail.

II.6. Procédures de conceptions des géométries (*gravure*)

- ✓ Au début on lance l'application SolidWorks (dans notre nous avons utilisé la version 2016) et on crée une nouvelle pièce dans la barre d'outils standard.
- ✓ Après la planification de la modélisation, on sélectionne le plan adéquat parmi les trois plans proposés : le plan de face, le plan de dessus et le plan de droite.
- ✓ On sélectionne le plan de face dans l'arbre de création FeatureManager et on ouvre une esquisse 2D.
- ✓ Un rectangle apparaît en surbrillance représente le plan sélectionné et une nouvelle

esquisse s’affiche dans l’arbre de création FeatureManager (Figure8).

Fig.II.8: Choix du plan et ouverture de nouvelle Esquisse

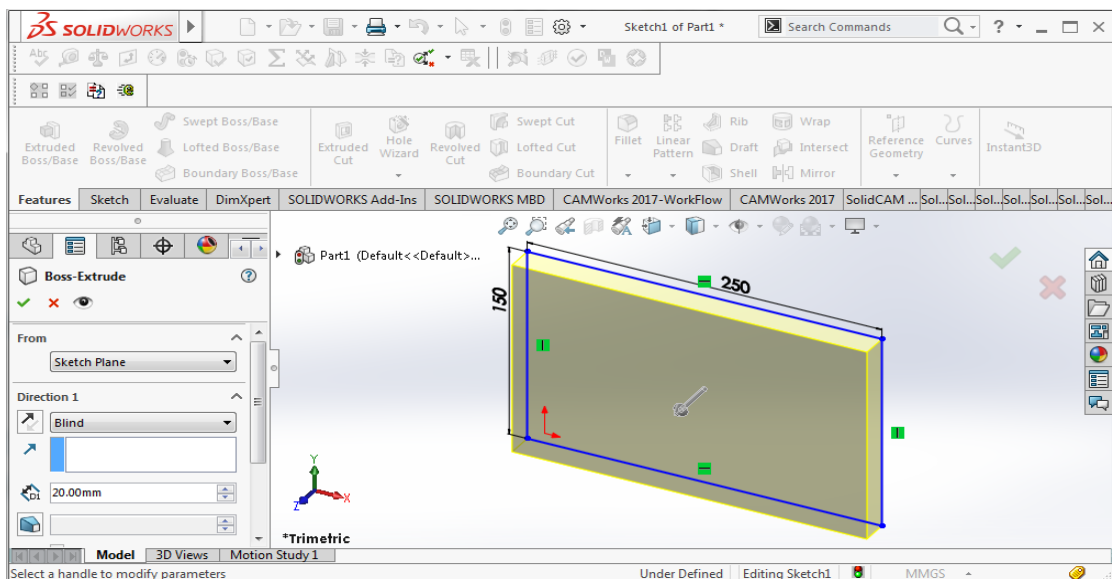


✓ **Conception de la plaque rectangulaire**

On esquisse un rectangle de longueur 250 mm et 150 mm de largeur par l’utilisation des éléments géométriques de base telle que la ligne, l’arc, le cercle, le rectangle, ...etc.

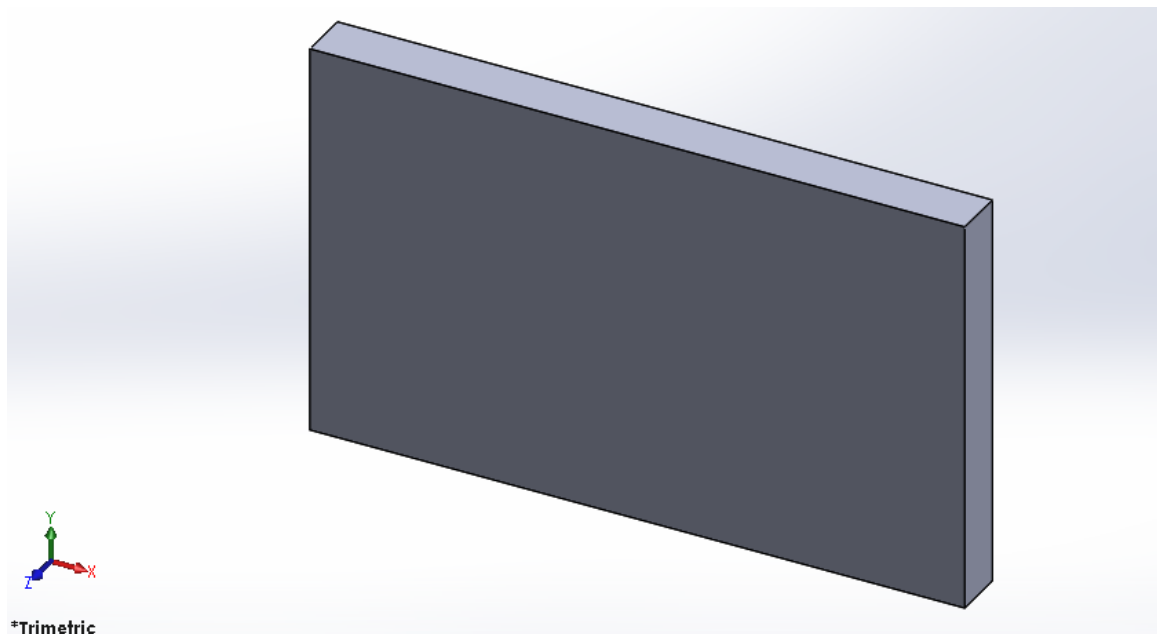
On sélectionne le rectangle et on fait une extrusion en utilisant la fonction “Base/bossage extrudé“ avec la déclaration du sens et d’épaisseur de l’extrusion (20.00mm) comme montre la figure II.9.

Figure II.9: La fonction Base/bossage extrudé du rectangle



La figure II.10 montre la plaque après l'extrusion

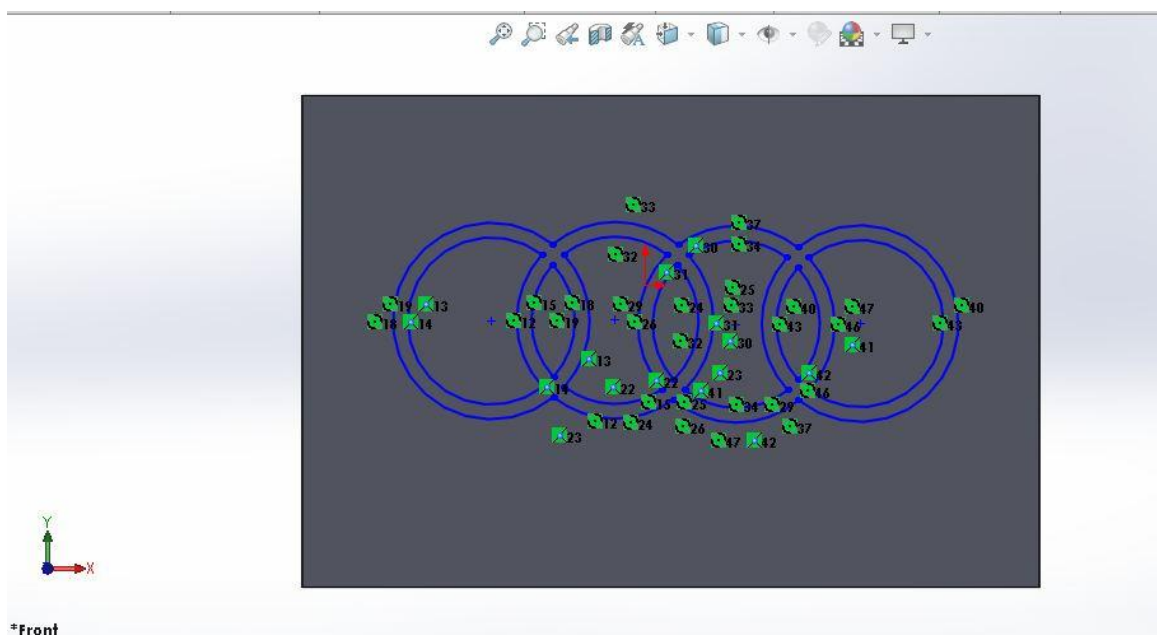
Figure II.10: Rectangle en 3D



✓ **Conception du contour externe du logo**

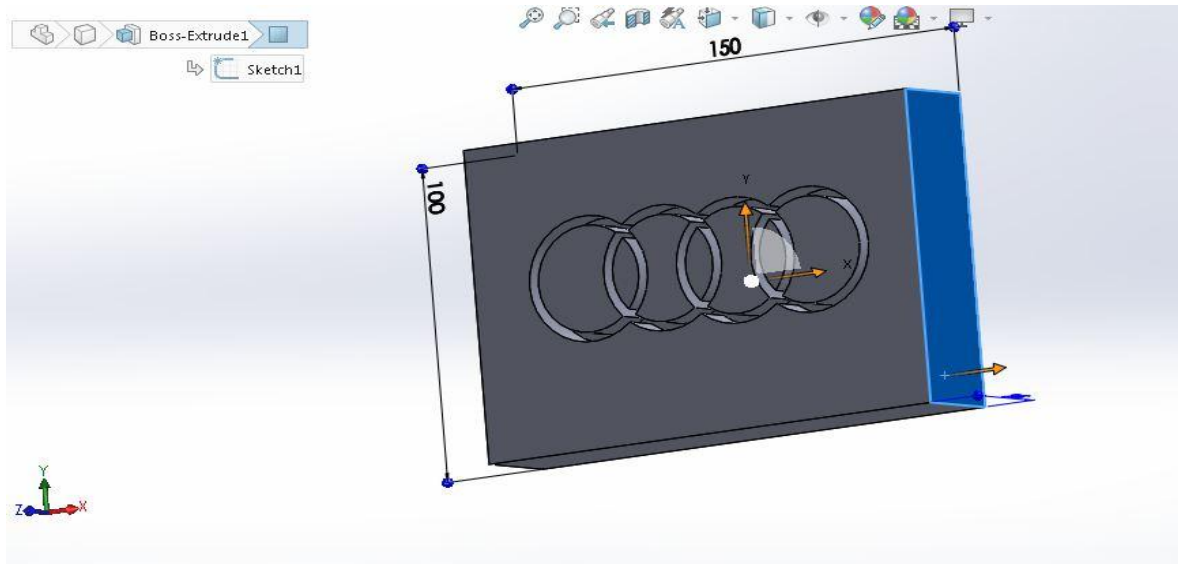
On sélectionne la face avant du rectangle et on ouvre une deuxième esquisse (esquisse2) pour dessiner le contour externe du logo. Pour gagner le temps On choisit une logo simple de la marque de voiture Audi comme un exemple .

Figure II.11: Eléments composants de contour externe du logo



On sélectionne les deux contours et on fait Enlèvement de matière en utilisant la fonction “Enlèvement de matière extrudé” puis on donne le sens et la profondeur de l’enlèvement de matière (2mm) (Figure II.12).

Figure II.12: Contour externe gravé sur la face avant de la pièce



II.7.Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté la définition de CAO ; Aussi, la définition d'une logiciel de conception assistée par ordinateur "SolidWorks" , ses commandes et ses avantages . Ensuite , on a démontré les procédures de conceptions des géométries (gravure) .

A fin de ce chapitre, Il est évident que la progression de ces méthodes avancées de conception est rapide et à moyen terme, elles seront utilisées dans la plupart des entreprises.

Dans le chapitre suivant, on va voir la fabrication assistée par ordinateur (FAO) et les logiciels SolidCam et CamWorks .

**Chapitre III : Fabrication
Assistée par Ordinateur
(FAO)**

III.1.Introduction

Intégrée au sein de l'environnement numérique de conception/fabrication propre au développement des produits industriels , la fabrication assistée par ordinateur (FAO) est une étape cruciale pour son bon déroulement .

Dans ce chapitre nous allons présent les logiciels Solidcam et Camworks , ce sont deux important logiciels pour faire la simulation 3D et de obtenir le G-code .

III.2.Définition de la FAO [11]

Une définition plus vaste de la FAO peut inclure l'utilisation d'applications logicielles pour définir un plan de fabrication pour la conception d'outils, la préparation de modèles de conception assistée par ordinateur (CAO), la programmation CN (commande numérique), la programmation de l'inspection par une machine de mesure des coordonnées (MMC), la simulation de la machine-outil ou le post-traitement. Le plan est alors exécuté dans un environnement de production, tel que le transfert de programme (DNC), la gestion des outils, l'usinage CNC ou l'exécution de la MMC.

La fabrication assistée par ordinateur (FAO) désigne généralement l'utilisation d'applications logicielles de commande numérique (CN) pour créer des instructions détaillées (G-code) qui pilotent les machines-outils de fabrication de pièces à commande numérique par ordinateur (CNC).

III.3. Les fichiers G-code [5]

Développé par l'EIA au début des années 1960, et finalement normalisé par l'ISO en février 1980' est un type de fonction utilisé dans le langage de programmation à commande numérique qui contient l'information pour positionner un outil dans les démentions x y z .

G-code est séparé de code M et T-code, c'est des codes qui contrôlent la machine et l'outillage. La version standard de G-code est connue comme RS-274D Développé à l'origine pour des machines-outils par enlèvement de matière, le G-code est désormais utilisé dans un domaine très vaste de la fabrication, avec des adaptations :

- ✓ Usinage par enlèvement de matière: tournage, fraisage, perçage, gravure, défonçage
- ✓ Découpe avec : couteau, laser, jet d'eau, plasma, flamme/oxydation
- ✓ Poinçonnage
- ✓ Impression 3D: Par dépôt de matière

En résumé le G-CODE est un langage de programmation simple dédié a la programmation des machines a commandes numériques par ordinateur on l'appelle G-CODE parce que toutes les

lignes d'instruction commencent par une commande de type G xx (xx étant le type d'opération que on veut faire). Il nous permet de faire des programmes simples pour les envoyer dans le contrôle , il est important de connaitre quelques bases de ce langage.

III.3.1.Le fonctionnement du G-Code

Le principe est simple: on va écrire une suite de lignes comportant quelques instructions et commandes qui vont demander a la machine de réaliser des mouvements dans l'espace en 3 dimensions. On va pour cela utiliser un repère cartésien dont les 3 axes de référence sont les axes X - Y - Z Voici quelques codes individuels communs, que lorsqu'il est combiné, guident le mouvement d'une machine.

- **G00**: Positionnement rapide Ce code provoque un fonctionnement rapide sur la machine.
- Interpolation linéaire : **G01** La machine se déplacera en ligne droite, effectuer l'usinage approprié (fraisage, coupe, etc.).
- **G02** : mouvement circulaire La machine se déplace vers la droite dans un mouvement circulaire ou d'effectuer le procédé d'usinage approprié
- **G03** : mouvement circulaire antihoraire Ce code est le même que G02, mais de l'autre sens
- **G17** : Sélection du plan XY
- **G18**: Sélection du plan XZ
- **G19**: Sélection du plan YZ Ces codes manoeuvrer la machine sur des plans différents pour le mouvement coordonné.
- **G20**: Programmation en pouces
- **G21**: Programmation en mm

III.3.2.Tableau récapitulatif des codes de base

Tableau III.1: Common Fanuc G Codes

G00	Déplacement rapide
G01	Interpolation linéaire
G02	Interpolation circulaire (sens horaire)
G03	Interpolation circulaire (sens anti-horaire)

G04	Arrêt programme et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi de l'argument F ou X en secondes)
G10/G11	G10/G11 Ecriture de données/Effacement de données
G17	Sélection du plan X-Y
G18	Sélection du plan X-Z
G19	Sélection du plan Y-Z
G20	Programmation en pouces
G21	Programmation en mm
G28	Retour à la position d'origine
G31	Saute la fonction (utilisé pour les capteurs et les mesures de longueur d'outil)
G33	Filetage à pas constant
G34	Filetage à pas variable
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41	Compensation de rayon d'outil à gauche
G42	Compensation de rayon d'outil à droite
G90	Déplacements en coordonnées absolues
G91	Déplacements en coordonnées relatives
G94/G95	Déplacement en Pouce par minute/Pouce par tour
G96/G97	Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante)/Vitesse de rotation constante ou annulation de G96

II.3.3. Codes Spéciaux

Spécifique FANUC

G43 : Prise en compte de la longueur (fraisage) .

M98 : appel de sous programmes.

Spécifique NUM

EB : Rayon à l'intersection de deux lignes

G77 : Appel de blocs

G79 : Saut de bloc

III.4. SolidCAM [2]

III.4.1. Définition SolidCAM

Fondé en 1984 par son directeur le Dr Emil Somekh, SolidCAM est un logiciel de FAO entièrement intégré à SolidWorksset Autodesk Inventor, avec des trajectoires d'outils complètement associatives avec le modèle SolidWorks . SolidCAM supporte le Fraisage 2.5axes, le Fraisage 3D et l'Usinage Grande Vitesse, le Fraisage 4 et 5 axes, le Tournage, le Tournage-Fraisage pour les CN multi-broches et multi-tourelles, ainsi que l'électro-érosion

III.4.2. Stratégies d'usinage:

La section de la technologie vous permet de choisir l'ébauche et la finition stratégie à appliquer. Les stratégies suivantes sont disponibles:

a. Stratégies d'ébauche

- Ebauche Contour
- Ebauche de repos

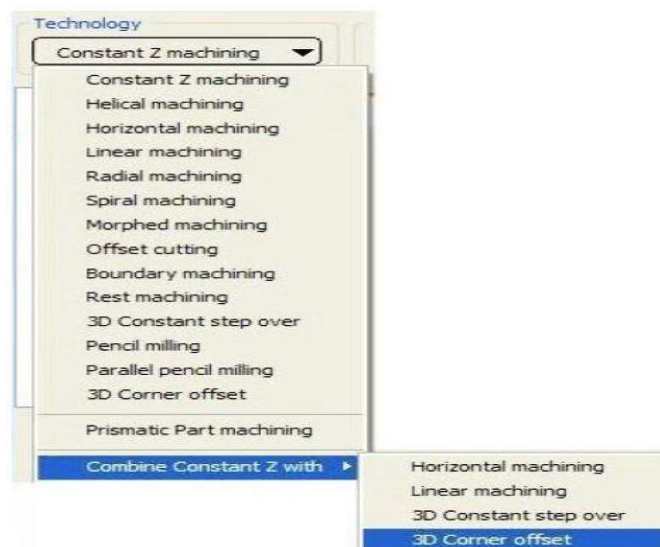
b. Stratégies de finition

- Constant Z usinage
- Usinage horizontal
- Usinage linéaire
- Usinage Radial
- Usinage en spirale

c. Les stratégies combinées

- Z constant avec usinage horizontal
- Z constant avec usinage linéaire

Figure III.1: Différentes stratégie pour SolidCAM

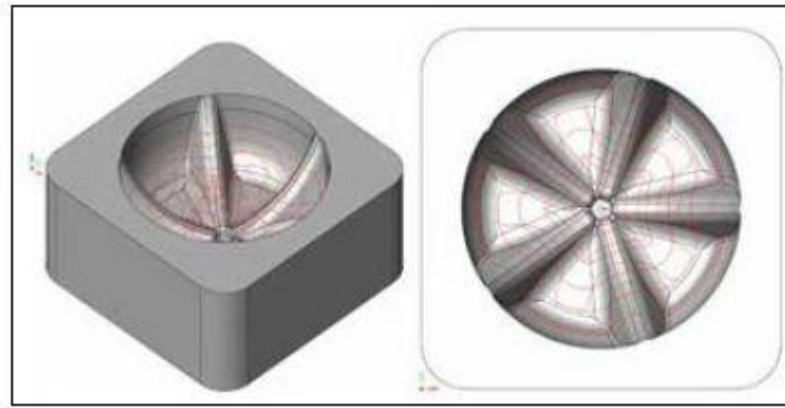


[2]

III.4.2.1. Ebauche de Contour:

Avec la stratégie d'ébauche des contours, SolidCAM génère une trajectoire d'outil de poche de style pour un ensemble de sections générée aux niveaux Z défini par l'étape indiquée en bas.

Figure III.2: Stratégie ébauche de contour



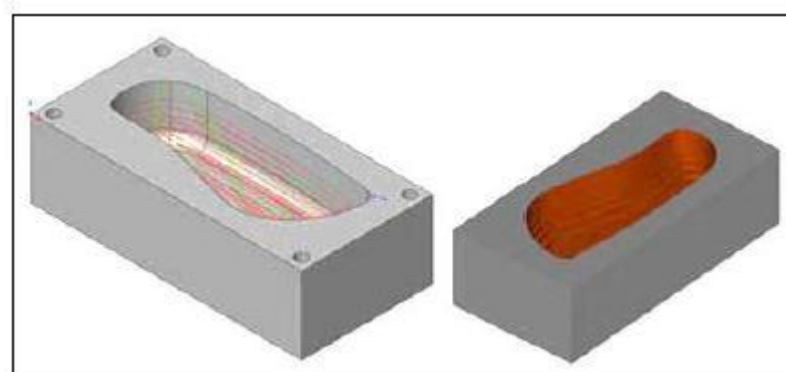
[12]

III.4.2.2. Ebauche de repos:

La stratégie d'ébauche de repos détermine les zones où le matériau reste non usiné après les précédentes opérations (le reste de la matière) et génère une trajectoire d'outil pour l'usinage de ces zones.

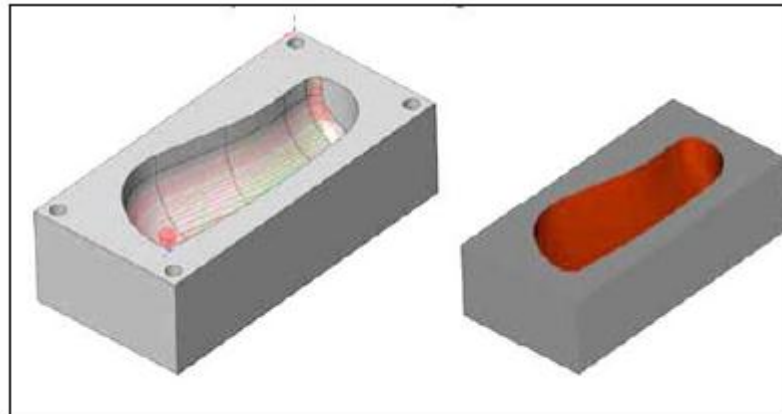
L'image suivante illustre le parcours d'ébauche réalisée avec un outil de $\varnothing 20$ qui est représenté sur (la figure III.3).

Figure III.3: Une opération d'ébauche sans repos



[2]

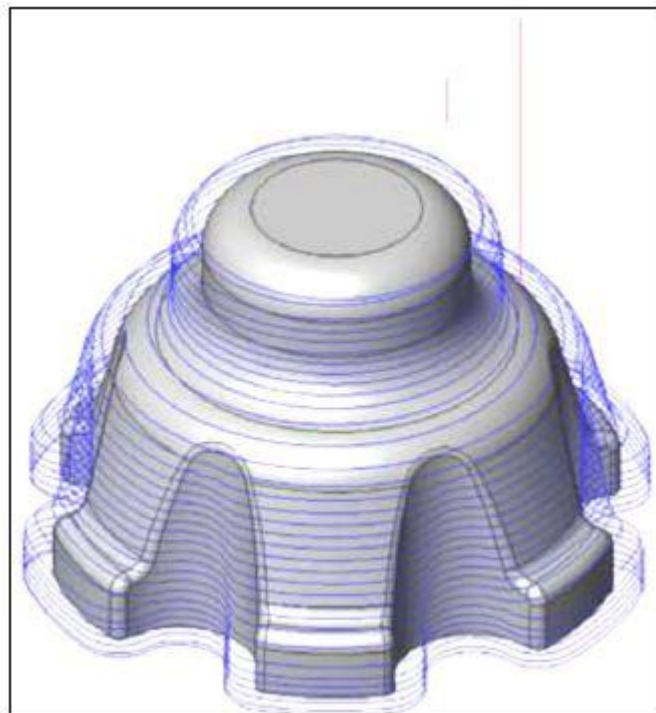
Après l'ébauche de la trappe, une opération d'ébauche de repos est réalisée avec une fraise en bout de $\varnothing 10$ (Fig.2.9). La trajectoire de l'outil est générée de la manière d'ébauchage du contour.

Figure III.4: Une opération d'ébauche avec repos

[12]

III.4.2.3. Usinage hélicoïdal

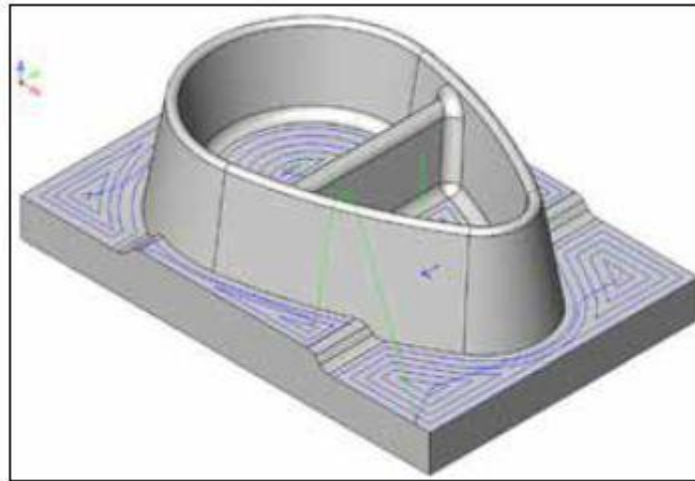
Cette stratégie est jointe dans une rampe descendante continue pour générer la trajectoire d'outil d'usinage en spirale comme illustre la figure 2.10. La trajectoire d'outil générées par la stratégie d'usinage hélicoïdal est commandé par deux paramètres principaux: ***Step down et Max. angle de la rampe.***

Figure III.5: Stratégie d'usinage hélicoïdal

III.4.2.4. Usinage horizontal

Cette stratégie génère un style de poche (un certain nombre de profils équidistants) de trajectoire d'outil directement sur les faces horizontales (parallèle au plan XY). La distance entre chaque deux passage adjacent est déterminée par les paramètres de décalage (voir la Figure III.6)

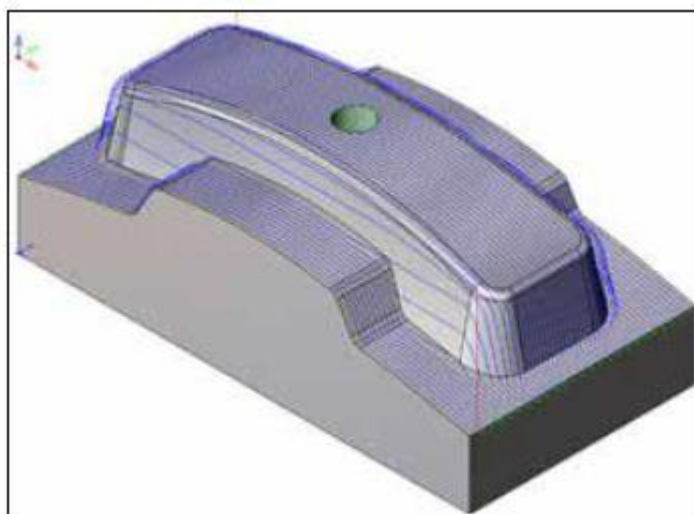
Figure III.6: Stratégie d'usinage horizontal



III.4.2.5. Usinage linéaire

Usinage linéaire génère une trajectoire d'outil consistant en un ensemble de passages parallèles à un angle défini par la distance entre les passages comme est illustré la figure III.7.

Figure III.7: Stratégie d'usinage linéaire

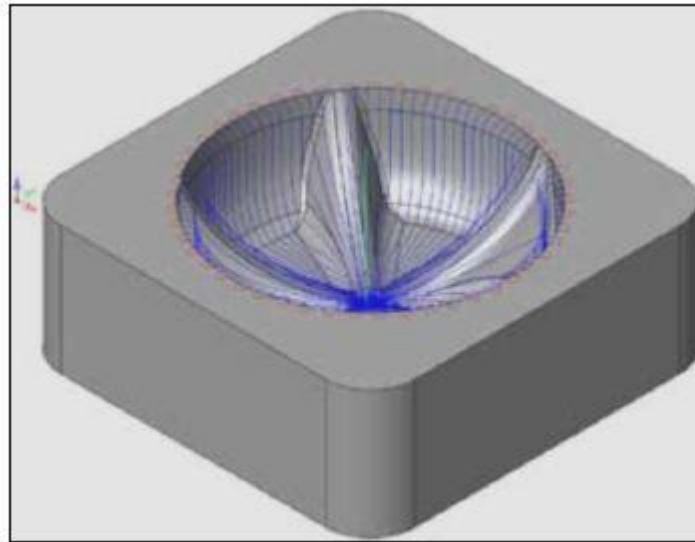


[2]

III.4.2.6. Usinage radial

La stratégie d'usinage Radial permet de générer un modèle radial de passes mis en rotation autour d'un point central. Les parcours convergent vers le centre de la pièce ce qui est présenté sur (la figure III.8).

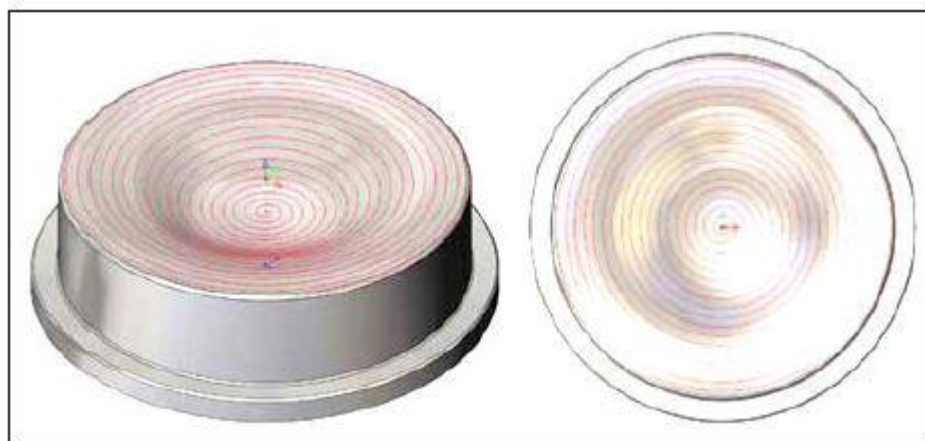
Figure III.8: Stratégie d'usinage radial



III.4.2.7. Usinage en spirale

La stratégie d'usinage en spirale permet de générer une trajectoire d'outil 3D spirale sur le modèle. Cette stratégie est optimale pour les zones modèles établis par les pièces de la révolution. La trajectoire de l'outil est produite par projection d'une spirale plane (situé dans le plan XY) sur le modèle (voir Figure III.9) .

Figure III.9: Stratégie d'usinage en spirale



[12]

III.5. CAMWorks

III.5.1. Définition CAMWorks [11]

CAMWorks est une solution FAO 3D intelligente et intuitive qui permet aux industriels d'augmenter leur productivité et leur rentabilité en utilisant les meilleures technologies d'automatisation et de flexibilité pour maximiser les performances des machines tout en restant simple d'utilisation.

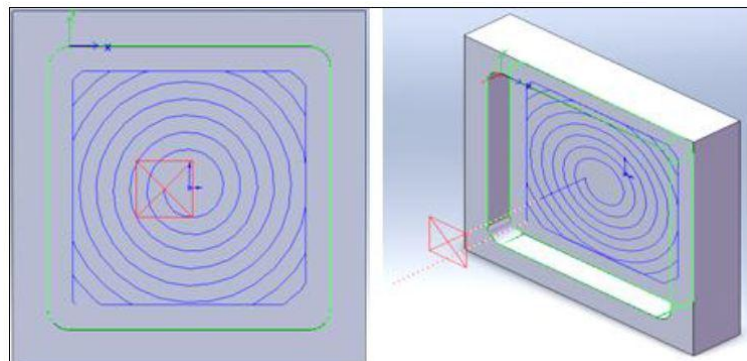
CAMWorks fut la première solution FAO créée pour fonctionner dans SolidWorks de façon totalement intégrée et la première également à proposer la programmation automatique intelligente et associative s'appuyant sur une base de savoir faire et sur la reconnaissance de formes et de fonctions technologiques

III.5.2. Différentes stratégies d'usinage pour CAMWorks

Dans CAM Works il existe sept stratégie tel que : *Spiral In*, *SpiralOut*, *Pocket In*, *Pocket Out*, *Zig*, *Zigzag* et *Plonge Rough*.

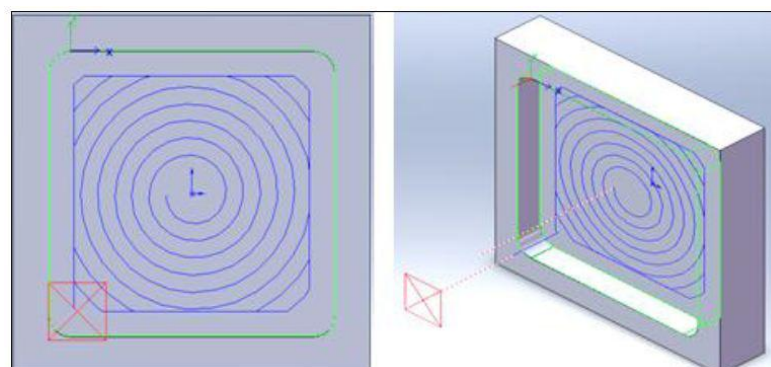
III.5.2.1. Spiral Out:

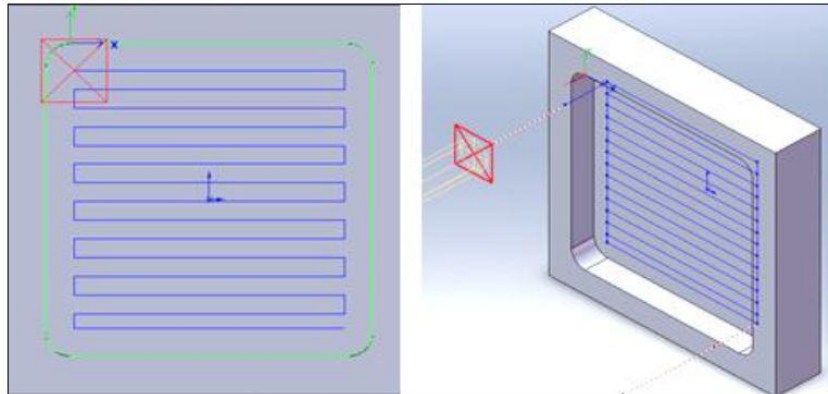
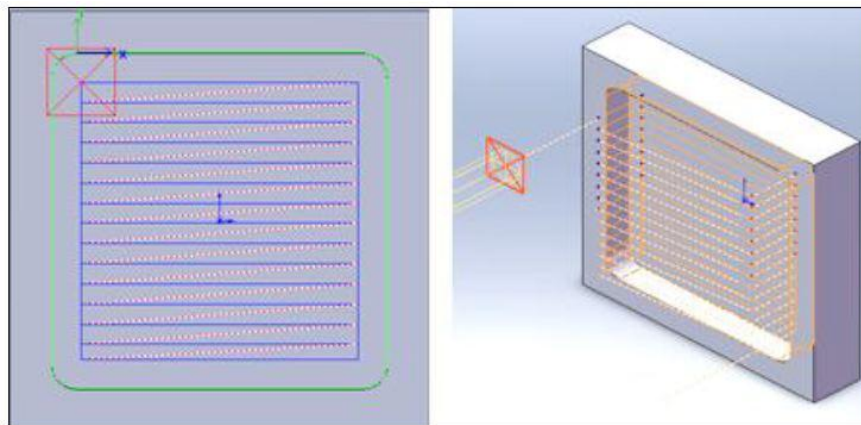
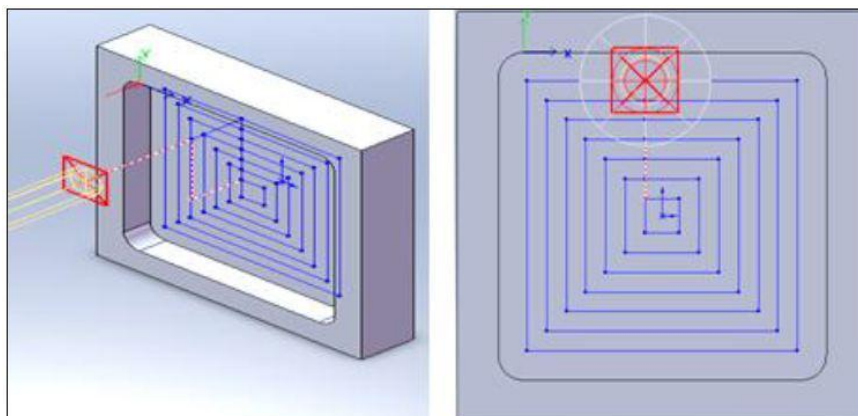
Figure III.10: Parcours d'outil en Spiral Out

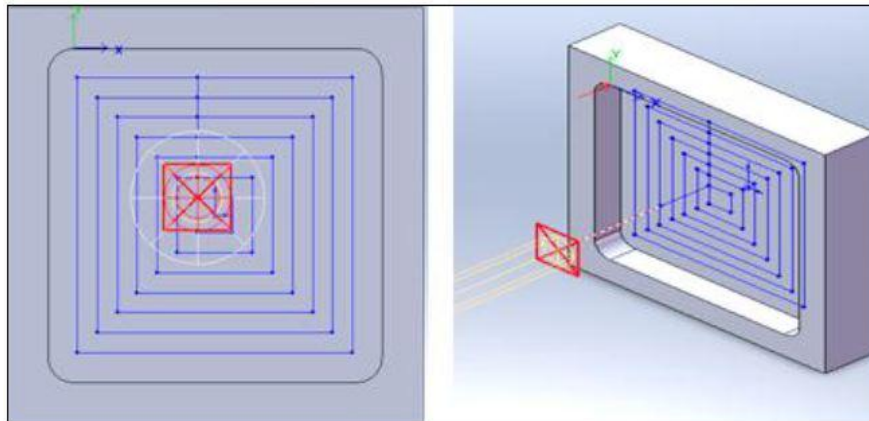
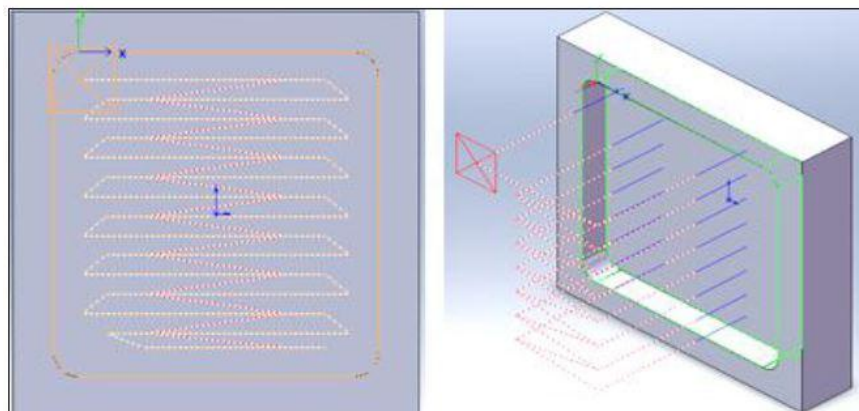


III.5.2.2. Spiral In :

Figure III.11: Parcours d'outil en Spiral In



III.5.2.3. Zigzag:**Figure III.12: Parcours d'outil en Zigzag****III.5.2.4. Zig:****Figure III.13: Parcours d'outil en Zig****III.5.2.5. Pocket In:****Figure III.14: Parcours d'outil en Pocket In**

III.5.2.6. Pocket Out:**Figure III.15: Parcours d'outil en Pocket Out****III.5.2.7. Plunge Rough:****Figure III.16: Parcours d'outil en Plunge Rough**

III.5.3. Aperçu du processus pour CAMWorks :

On peut résumer Trois ensembles de données sont nécessaires pour un projet :

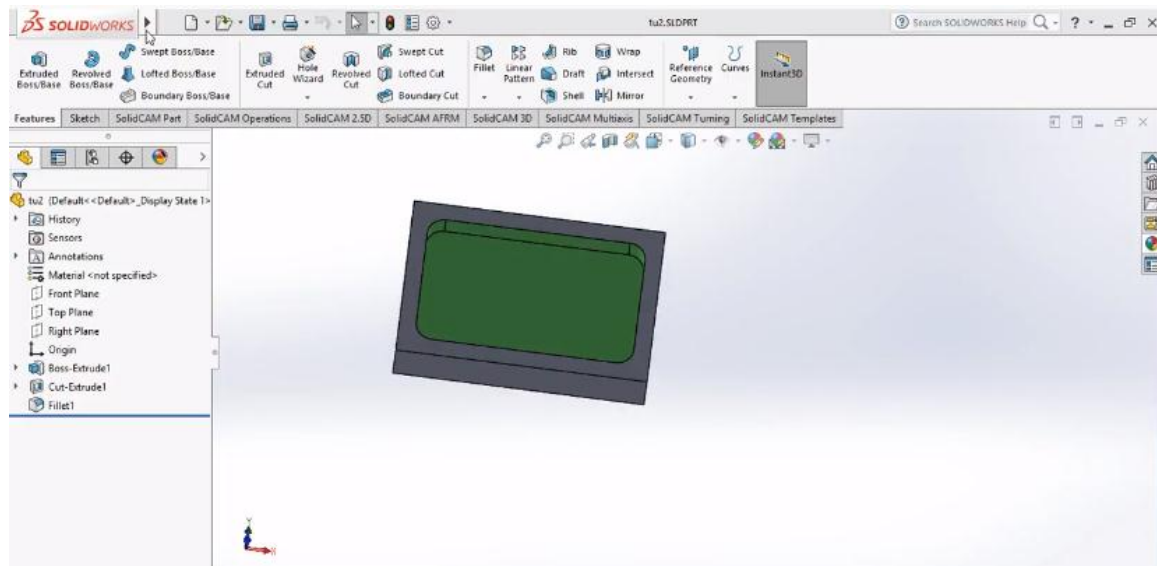
- A. CAM-Part** - La CAM-Part définit les données générales de la pièce. Cela comprend le nom du modèle, le système de coordonnées, les outils, les options, le contrôleur CNC, etc.
- B. Géométrie** - En sélectionnant des arêtes, des courbes, des surfaces ou des solides, la géométrie définit ce que vous allez usiner et où. Ce site géométrie est associée au modèle SolidWorks natif.
- C. Opération** - Dans SolidCAM, une opération est une étape d'usinage unique. Une pièce est généralement fabriquée à l'aide de plusieurs

étapes et technologies d'usinage, et pour chacune de ces étapes, vous pouvez définir une opération.

Étape 1: ouvrir une pièce dans SolidWorks

C'est là que le dessin de pièce est ouvert dans la fenêtre SolidWorks. Différents formats de fichiers (IGES, STL, CADKEY, ProEetc.) peuvent être ouverts dans CAMWorks.

Figure III.17: pièce dans le SolidWorks



- ✓ Allez dans **SolidCAM** > **Paramètres SolidCAM** > Unités et sélectionnez le pouce.
- ✓ Une fois la pièce ouverte, allez dans **SolidCAM** > **New** > **Milling**.
- ✓ Indiquez le dossier dans lequel SolidCAM enregistrera votre travail. Il créera automatiquement un dossier dans ce dossier avec les fichiers qui seront utilisés pour l'usinage.

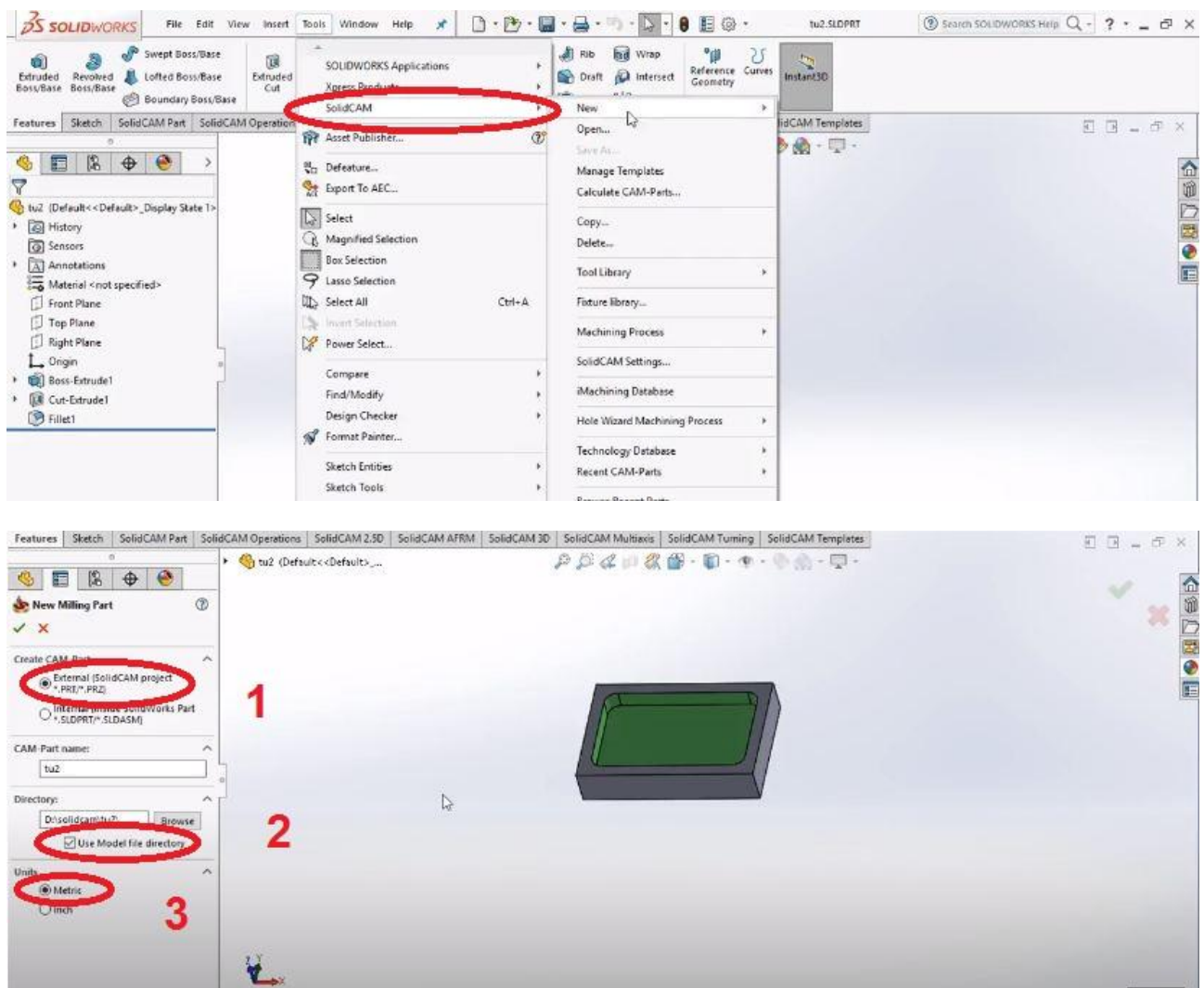
seront utilisés pour l'usinage. Vous pouvez cocher la case Utiliser le répertoire de fichiers du modèle pour que le dossier soit créé dans le même dossier que votre pièce originale.

même dossier que votre pièce originale. Vous remarquerez que les fichiers de pièce suivants sont générés dans ce dossier :

- ✓ **designmodel.sldprt** - est créé et constitue la copie de la pièce Solidworks.
- ✓ **CAM.sldprt** - est créé avec des données spécifiques à SolidCAM qui vous permettront d'enregistrer votre session CAM et d'y revenir plus tard.

Lorsque vous avez terminé, le menu Données de la pièce à fraiser s'ouvre sur la gauche.

Figure III.18: ouvrir l'outil SolidCAM



Étape 2 : Données de la pièce à fraiser

- ✓ Cliquez sur la face supérieure de votre pièce.

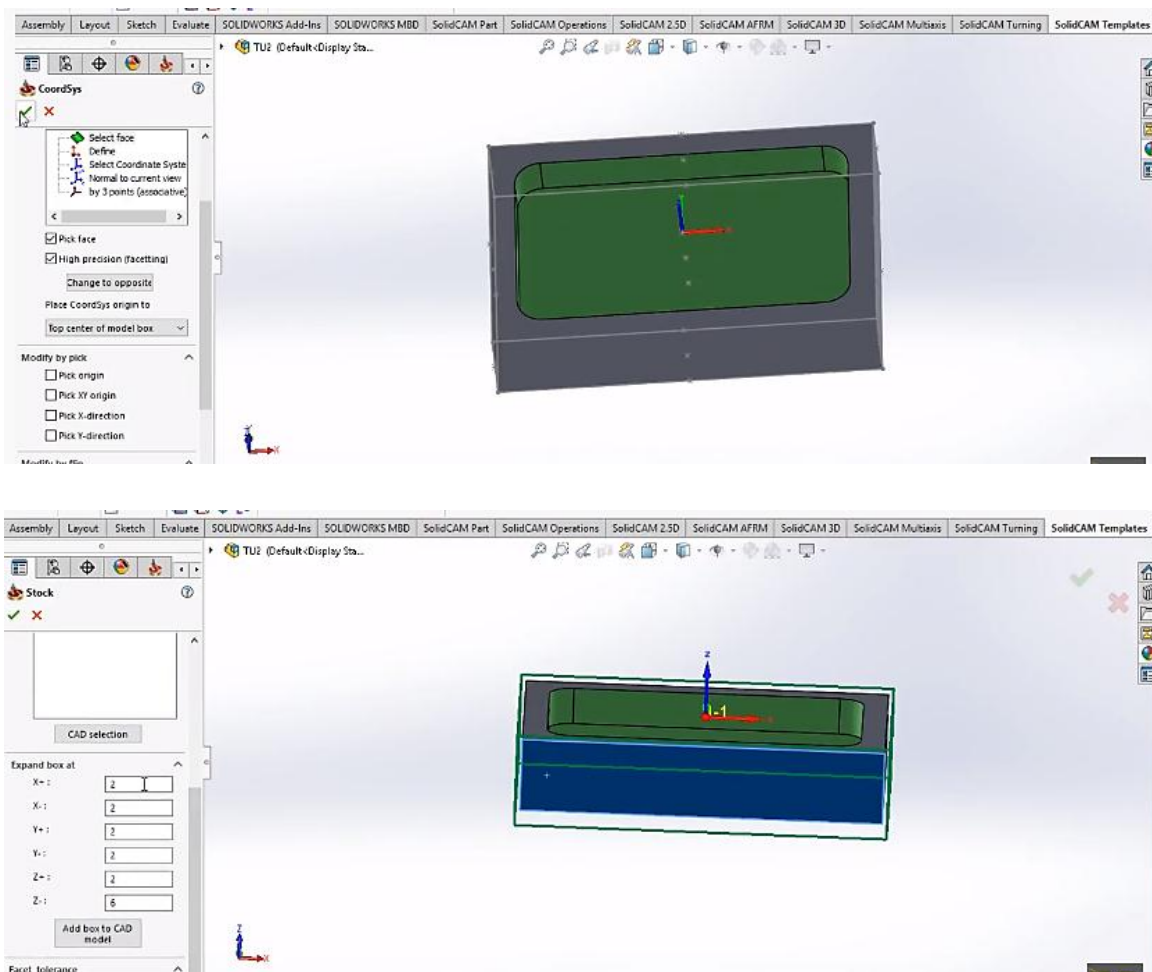
SolidCAM placera automatiquement l'origine dans l'un des coins de la surface supérieure.

Il est courant de placer l'origine dans le coin supérieur gauche de la pièce, l'axe z pointant vers le haut et l'axe x positif pointant vers la droite.

l'axe x positif pointant vers la droite.

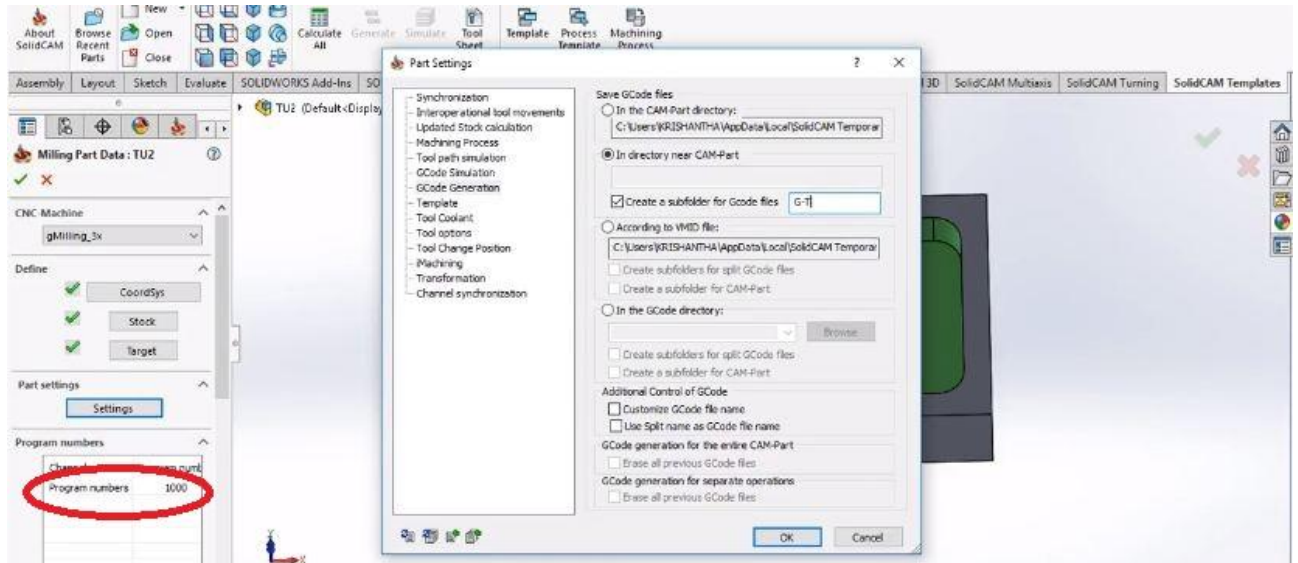
- ✓ Pour déplacer le point d'origine vers un autre coin, cliquez sur la case à cocher Pick Origin et sélectionnez le point approprié sur votre modèle CAO.
- ✓ **Niveau de début d'outil** (le niveau z auquel l'outil commence).
- ✓ **Niveau de dégagement** (le niveau z auquel l'outil se déplace lorsqu'il passe d'une opération à l'autre).
- ✓ **Niveau supérieur de la pièce** (hauteur de la surface supérieure de la pièce), à condition que vous ayez défini correctement votre système de coordonnées!
- ✓ **Niveau inférieur de la pièce** (le niveau de la surface inférieure de la pièce à fraiser) = profondeur maximale souhaitée.
- ✓ **Niveau z de l'outil** (uniquement pour le fraisage sur 3+ axes)

Figure III.19: définir le stock ou le matériau



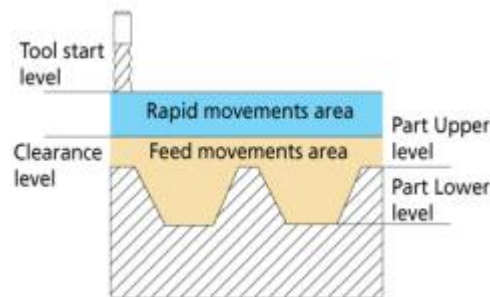
- ✓ **Numéros de code GC par défaut** : n/a

Figure III.20: Numéros de code GC



- ✓ **Matériau de travail** : Sélectionnez le matériau avec lequel vous allez travailler pour que SolidCAM calcule les vitesses de broche et les vitesses d'avance appropriée .

Figure III.21: Exemple matériau de travail

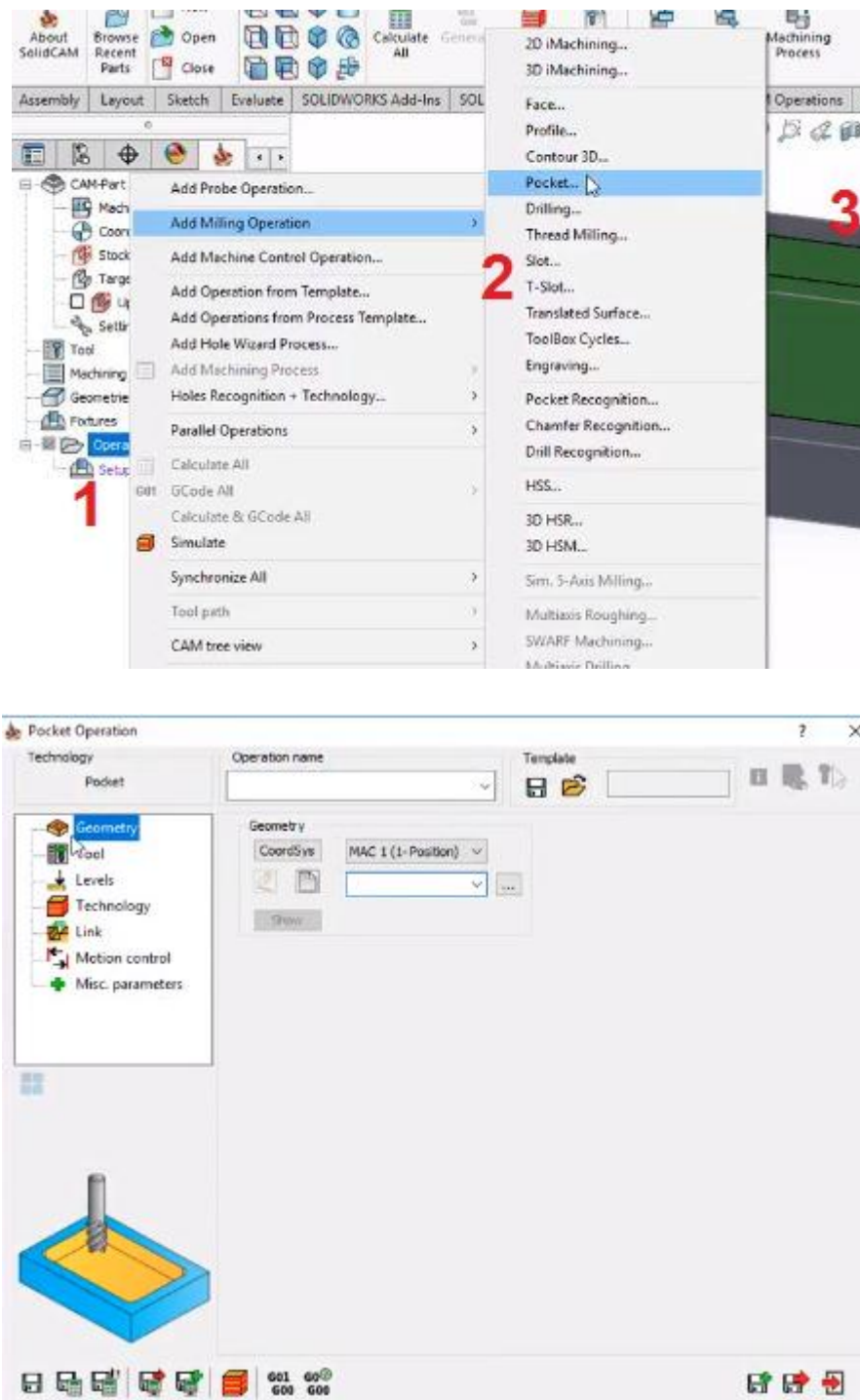


Étape 3 : Mise en place d'une opération de fraisage de poche (Pocket Milling Operation)

Cliquez droit sur l'en-tête des opérations sélectionnez Add Operation > Pocket

- ✓ Tout d'abord, nous devons définir la forme de pocket . Sous **Geometry** , cliquez sur le bouton **Define**, puis sélectionnez les **EDGES** qui définiront la forme.
- ✓ dans la fenêtre **Pocket Operation**, cliquez sur Sélectionner sous **Tool** pour définir l'outil pour cette opération.

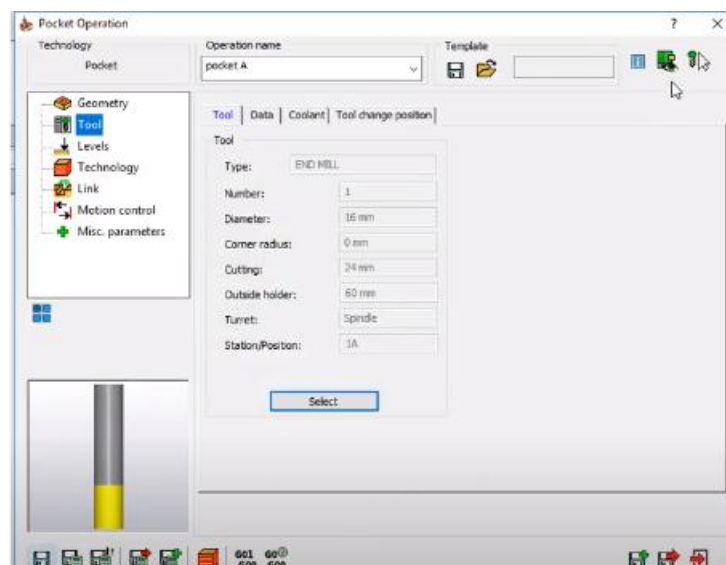
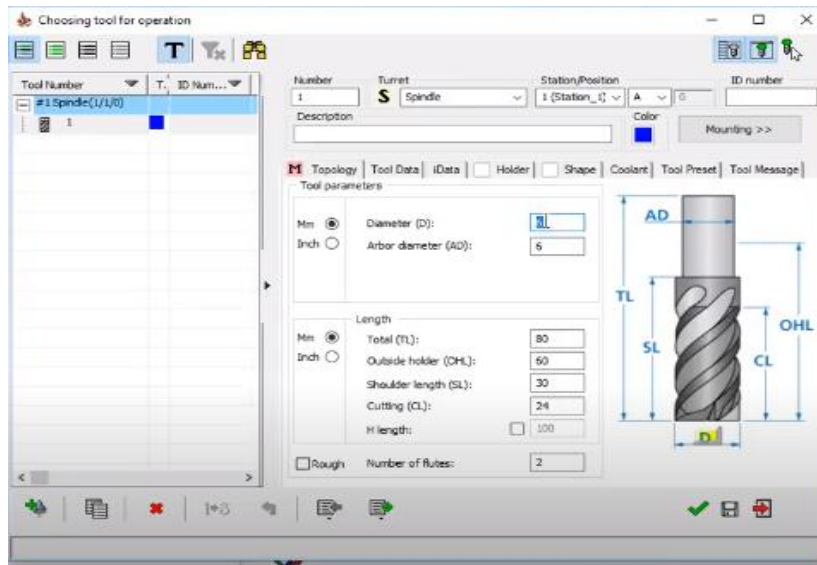
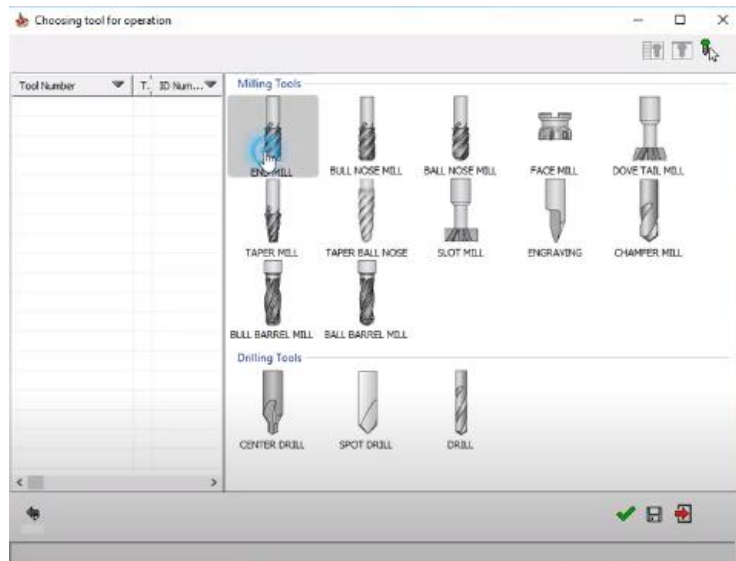
Figure III.22: Mise en place " Pocket Milling Operation"



- ✓ Cliquez sur le bouton **Add** pour faire apparaître un nouveau menu.
- ✓ Sous **Tool Number**, entrez 2.
- ✓ Sous Paramètres de l'outil, entrez ce qui suit :

Diameter , Corner Radius , Length ,Outside Holder, Cutting , H length , Number of Flutes

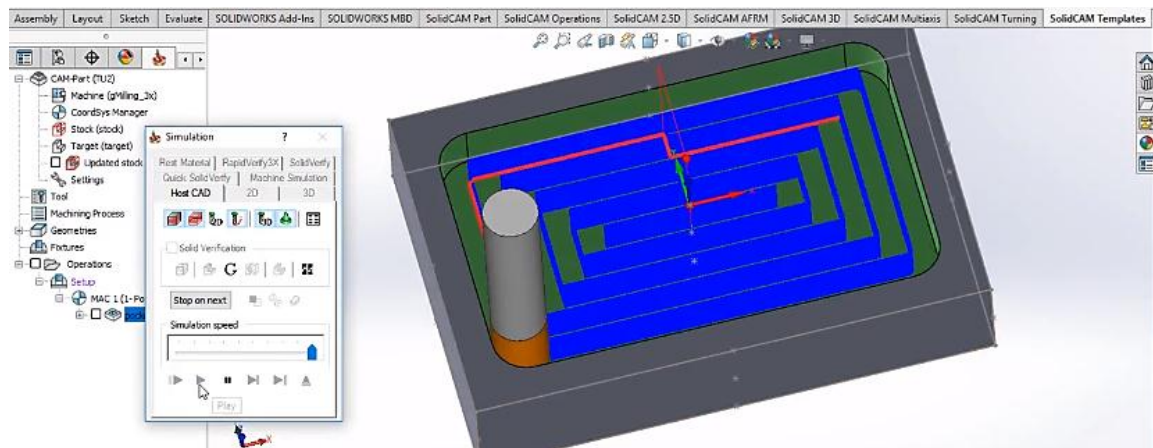
Figure III.23: Paramètres de l'outil



Étape 4 : Simulation

Avant de découper les pièce, vous devez vérifier en rapide Pour commencer, faites un clic droit sur **Operations**, puis sélectionnez **Simuler**. Il existe un certain nombre de façons d'effectuer la simulation, notamment : **Host CAD** , **Solid Verify**

Figure III.24 :Simulation de découpage du pièce

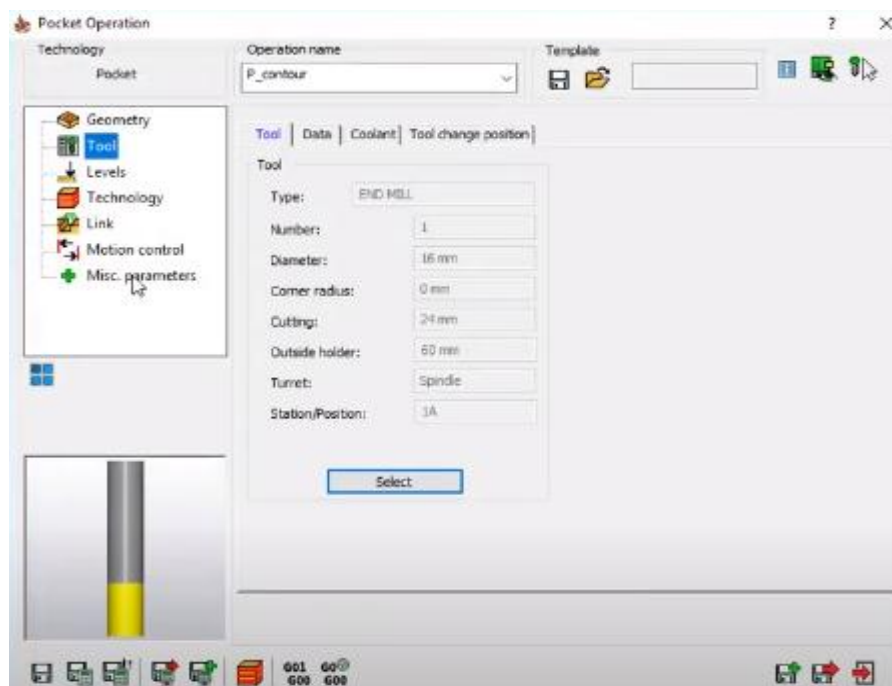


Étape 5: Exporter le G-code

Lorsque vous avez saisi et simulé toutes vos opérations

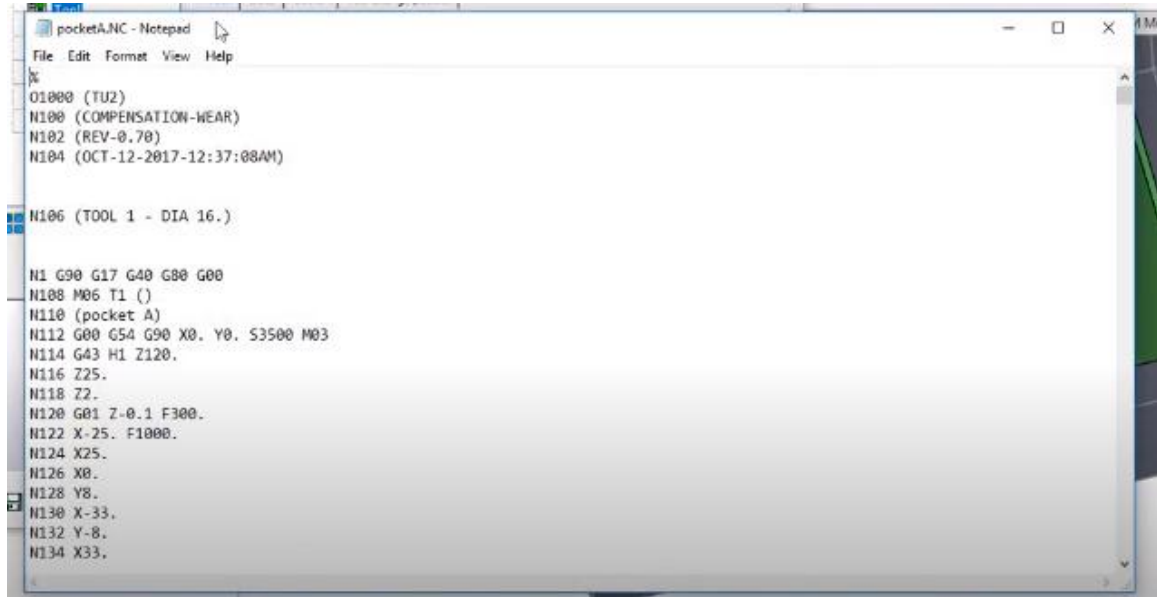
- ✓ Sauvegardez tout.
- ✓ Faites un clic droit sur les opérations et sélectionnez **Gcode All** > **Generate**.

Figure III.25: Exporter le fichier de G-code



Ici, le code G nécessaire pour faire fonctionner les machines CNC qui fabriqueront les pièces est généré. Le G-code est un langage qui indique aux machines-outils informatisées comment fabriquer une pièce.

Figure III.26: Sample G-Code



```
File Edit Format View Help
%
O1000 (TU2)
N100 (COMPENSATION-WEAR)
N102 (REV-0.70)
N104 (OCT-12-2017-12:37:08AM)

N106 (TOOL 1 - DIA 16.)

N1 G90 G17 G40 G80 G00
N108 M06 T1 ( )
N110 (pocket A)
N112 G00 G54 G90 X0. Y0. S3500 M03
N114 G43 H1 Z120.
N116 Z25.
N118 Z2.
N120 G01 Z-0.1 F300.
N122 X-.25. F1000.
N124 X25.
N126 X0.
N128 Y8.
N130 X-.33.
N132 Y-.8.
N134 X33.
```

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les deux logiciels CAMWorks et SolidCAM quelques notions des stratégies d'usinage de système FAO appliquées aux systèmes CAMWorks et SolidCAM, ensuite définie les Paramètres de stratégie . Dans le chapitre quatrième nous allons exposer la carte STM32FDiscovery (STM32F429) et le firmware GRBL .

**Chapitre IV : La carte
STM32F429 et firmware
Grbl**

IV.1.Introduction

Pour réaliser notre machine CNC 3D , on a besoin d'une carte STM32Discovery avec un microcontrôleur de haute performance STM32F4, Aussi un logiciel de firmware GRBL pour contrôler les moteurs pas à pas et le spindle .

Dans ce chapitre nous allons présente la carte STM32F429, STM32CubeMX et STM32CubeProgrammer,ensuite le logiciels de firmware Grbl et comment configurer le Grbl avec la carte STM32.

IV.2. La carte STM32F429 [13]

Le kit de découverte 32F429IDISCOVERY permet aux utilisateurs de développer facilement des applications avec le microcontrôleur haute performance STM32F429 basé sur le noyau Arm® Cortex®-M4 de SMicroelectronics.

Cortex®-M4 de STM32F429, microcontrôleur haute performance. Il comprend un outil de débogage embarqué ST-LINK/V2-B, un écran LCD TFT QVGA de 2,4 pouces, une SDRAM externe de 64 Mbits, un gyroscope MEMS ST, un connecteur Micro-AB USB OTG, des LED et des boutons poussoirs.

La carte est livrée avec les bibliothèques de logiciels gratuits STM32 et des exemples disponibles avec le package MCU STM32CubeF4, ainsi qu'un accès direct aux ressources Arm® Mbed Enabled™ sur le site <http://mbed.org>.

Figure IV.1: Carte découverte STM32F429



Tout d'abord, vous avez besoin des composants matériels suivants:

STM32F429 Discovery board de STMicroelectronics (STM32F429I-DISC1) Câble USB pour connecter la carte à votre PC.

Assurez-vous que vous avez obtenu les paquets logiciels suivants:

- ❖ Embedded Wizard Studio Free ou Embedded Wizard Studio Pro
- ❖ Embedded Wizard STM32 Platform Package
- ❖ Embedded Wizard Build Environment pour la découverte du STM32F429

IV.3. STM32CubeMx

IV.3.1. Définition de STM32CubeMx

L'application STM32CubeMX aide les développeurs qui utilisent microcontrôleurs STM32 à travers une interface utilisateur qui guide la configuration initiale d'un projet de firmware, Elle fournit les moyens de configurer l'assignation des broches, l'arbre d'horloge, les périphériques intégrés et de simuler le système.

l'arbre d'horloge, les périphériques intégrés, et de simuler la consommation d'énergie du projet résultant. Il utilise une riche bibliothèque de données provenant du portefeuille de microcontrôleurs STM32.

L'application est destinée à faciliter la phase initiale de développement, en aidant les développeurs à sélectionner le meilleur le meilleur produit en termes de fonctionnalités et de puissance.

IV.3.2. Caractéristiques du STM32CubeMX

Les principales caractéristiques du STM32CubeMX sont :

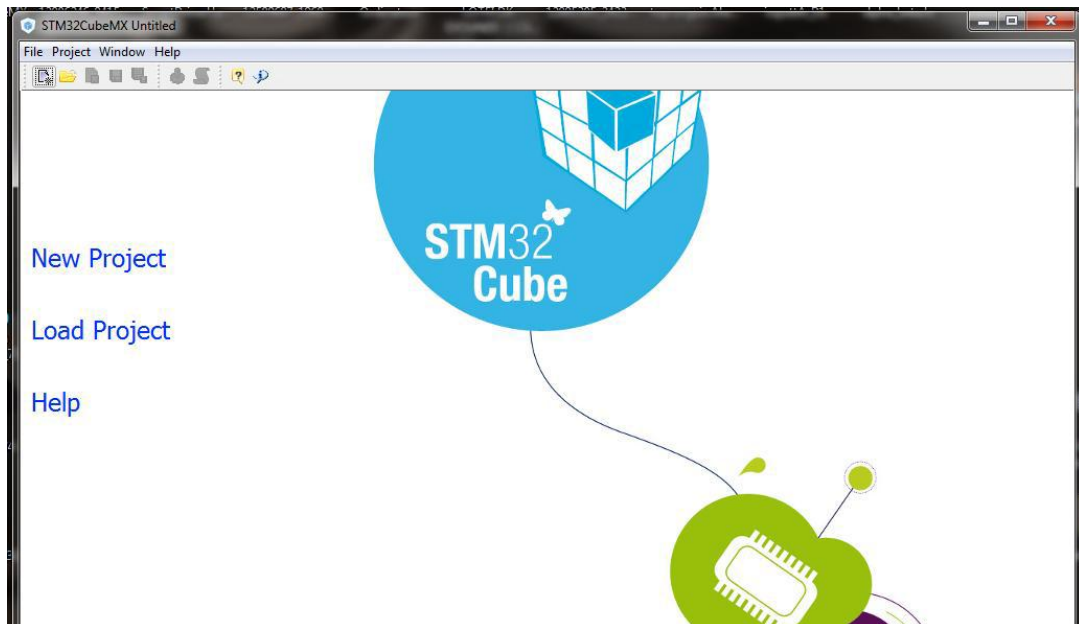
- ❖ Sélection de microcontrôleur facile couvrant la famille STM32 entière.
- ❖ Sélection de la carte à partir d'une liste des cartes de STMicroelectronics.
- ❖ La facilité de la configuration du microcontrôleur (broches, arbre d'horloge, périphériques, middleware) et la génération du code d'initialisation correspondant en langage C.
- ❖ Génération de rapports de configuration.

IV.3.3. Les principales pages de configuration STM32CubeMX

IV.3.3.1. Page d'accueil de STM32CubeMX

La page d'accueil est la première fenêtre qui s'ouvre au lancement du programme STM32CubeMX. Il reste ouvert aussi longtemps que la demande est en cours d'exécution. Fermeture qu'il referme l'application. La page d'accueil représenté dans la Figure (IV.1) suivante.

Figure IV.2 : Page d'accueil du STM32CubeMX

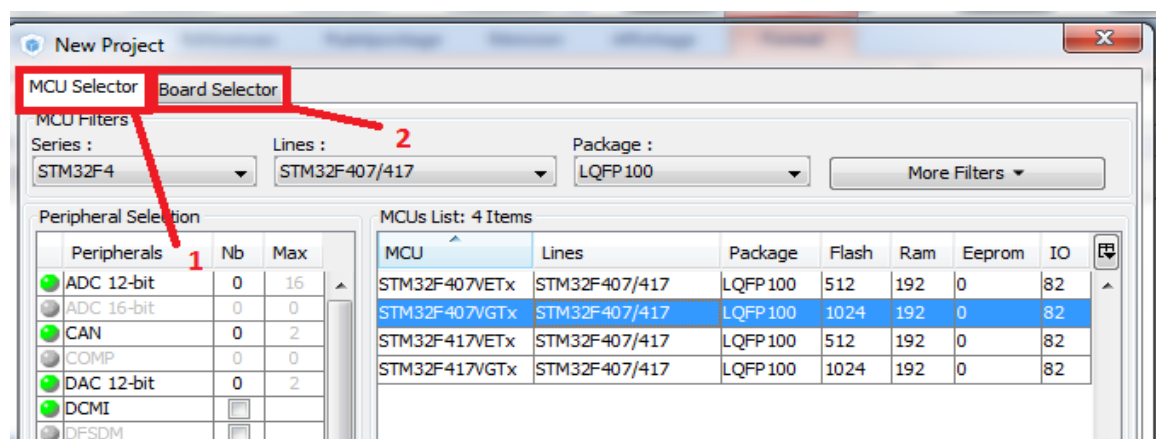


IV.3.3.2. La fenêtre de nouveau projet

Cette fenêtre affiche deux onglets au choix:

- ❖ L'onglet de sélection MCU proposant une liste de processeurs cible, voir (1) dans la figure (IV.3).
- ❖ Un onglet Sélecteur conseil montrant une liste de conseils STMicroelectronics (2) dans la figure (IV.3)

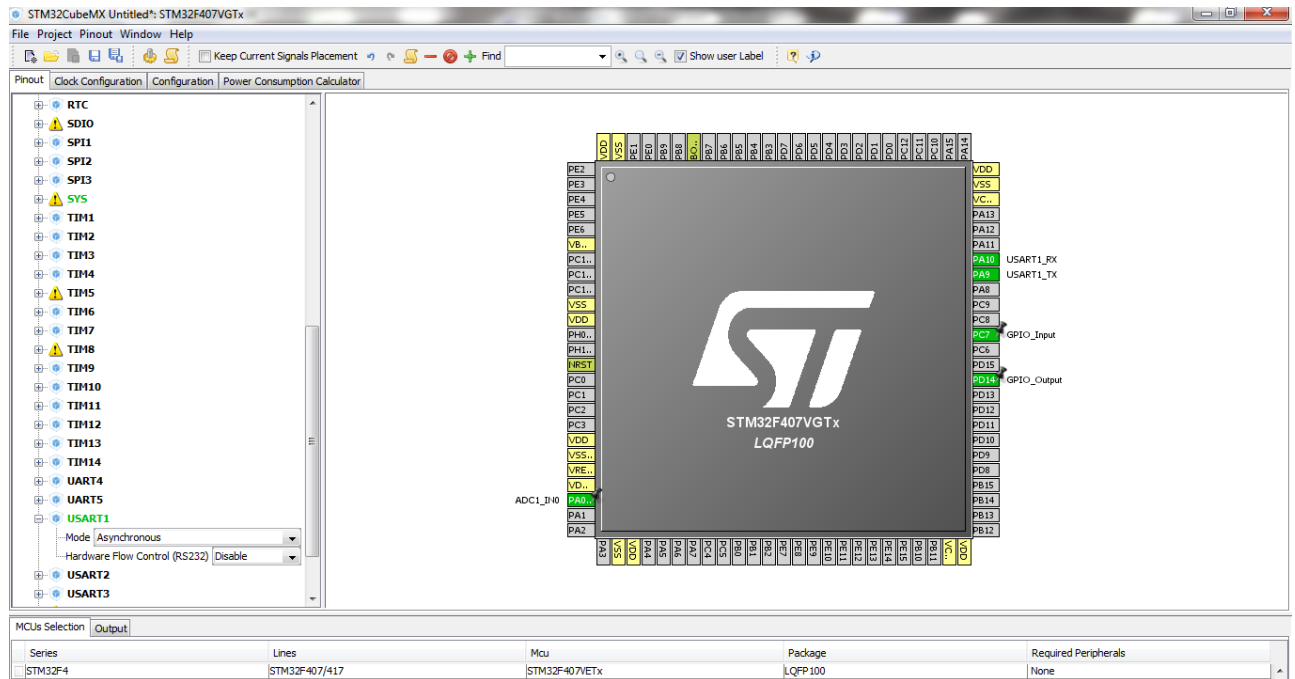
Figure IV.3: La fenêtre de nouveau projet



IV.3.3.3. La fenêtre principale :

la fenêtre principale affiche tous les composants et les menus du STM32CubeMX, comme montré dans la figure (IV.4).

Figure IV.4 : la fenêtre principale de STM32CubeMX



IV.4. STM32CubeProgrammer [14]

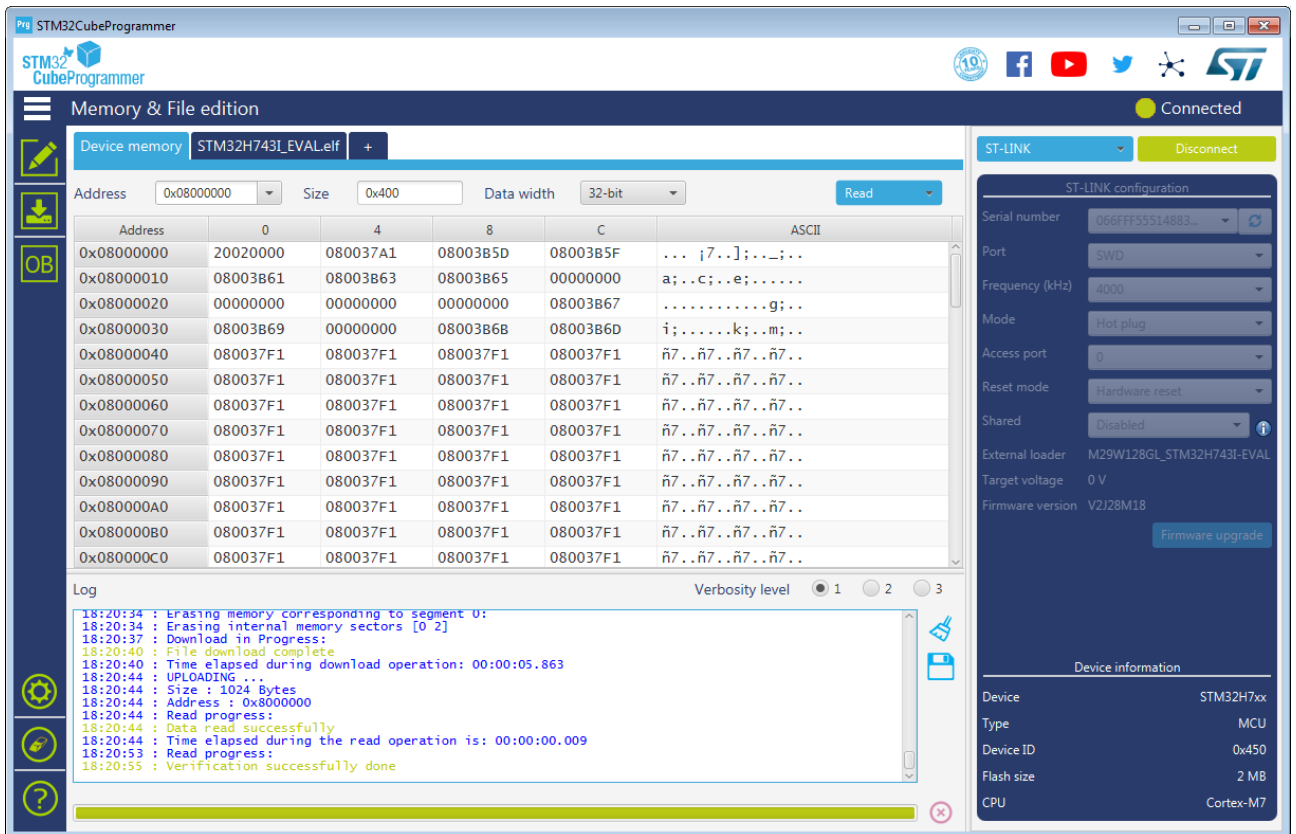
IV.4.1. Définition de STM32CubeProgrammer

STM32CubeProgrammer (STM32CubeProg) est un outil logiciel tout-en-un pour programmer les dispositifs STM32 dans n'importe quel environnement : multi-OS, interface utilisateur graphique ou interface de ligne de commande, support d'un large choix de connexions (JTAG, SWD, USB, UART, SPI, CAN, I2C), avec une opération manuelle ou une automatisation par script.

IV.4.2. Interface utilisateur STM32CubeProgrammer pour MCUs

IV.4.2.1. La fenêtre principale

Figure IV.5: Fenêtre principale du STM32CubeProgrammer

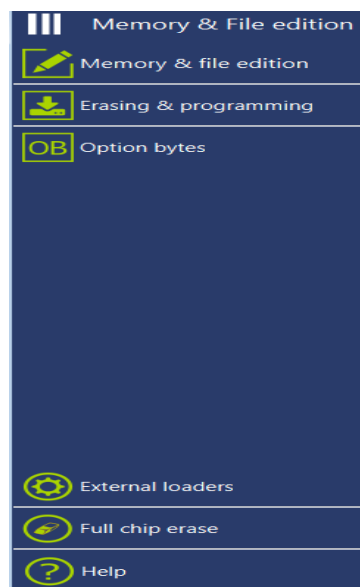


La fenêtre principale est composée des parties décrites dans les sections suivantes.

IV.4.2.1.1.Main menu

Le menu principal permet à l'utilisateur de basculer entre les trois panneaux principaux des outils Mémoire et édition de fichiers, Programmation et effacement de la mémoire, et Options bytes.

Figure IV.6 : Menu principal élargi



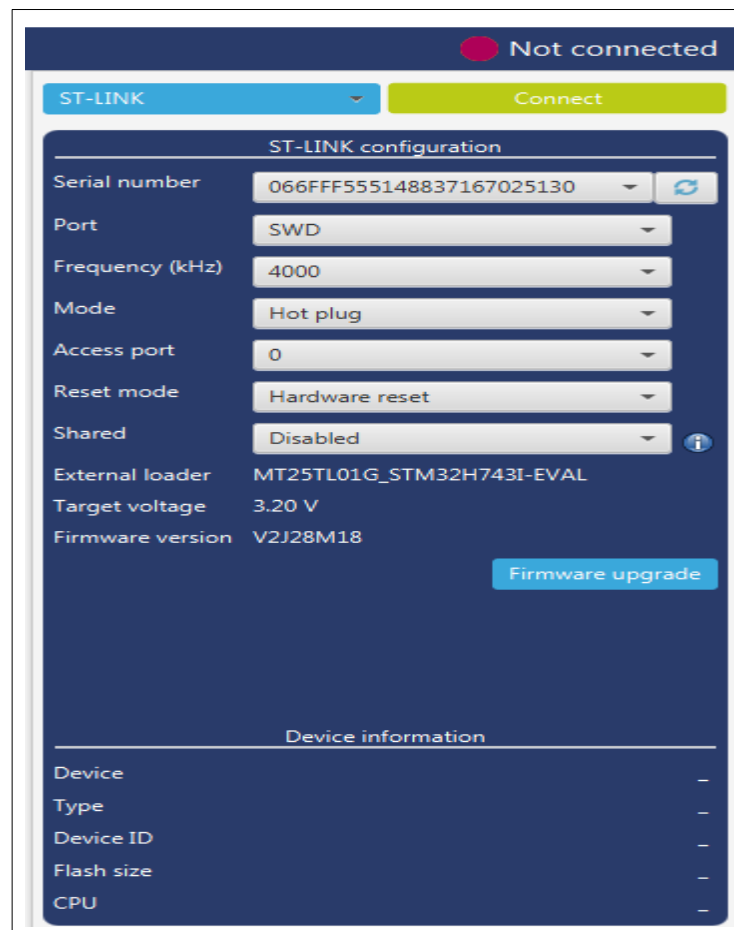
IV.4.2.1.2. Panneau de configuration de la cible

C'est le premier panneau à regarder avant de se connecter à une cible. Il permet à l'utilisateur de sélectionner l'interface de la cible ; soit l'interface de débogage en utilisant la sonde de débogage ST-LINK, soit l'interface du chargeur de démarrage via UART, USB, SPI, CAN ou I2C.

Le bouton de rafraîchissement permet de vérifier les interfaces disponibles connectées au PC. Lorsque ce bouton est pressé alors que l'interface ST-LINK est sélectionnée, l'outil vérifie les sondes ST-LINK connectées et les liste dans la boîte combo Numéros de série.

❖ Paramètres ST-LINK

Figure IV.7: Panneau de configuration de ST-LINK



✓ **Numéro de série** : Ce champ contient les numéros de série de toutes les sondes ST-LINK connectées. L'utilisateur peut choisir l'une d'entre elles, en fonction de son numéro de série.

✓ **Port** : La sonde ST-LINK supporte deux protocoles de débogage, JTAG et SWD.

✓ **Fréquence** : La fréquence de l'horloge JTAG ou SWD

- ✓ **Port d'accès :** Sélectionne le port d'accès auquel se connecter. La plupart des dispositifs STM32 ont un seul port d'accès, qui est le port d'accès 0.
- ✓ **Mode :**

Normal : Avec le mode de connexion 'Normal', la cible est réinitialisée puis arrêtée. Le type de réinitialisation est sélectionné à l'aide de l'option "Reset Mode".

Connexion sous réinitialisation : Ce mode permet la connexion à la cible en utilisant une capture de vecteur de réinitialisation avant d'exécuter toute instruction. Ceci est utile dans de nombreux cas, par exemple lorsque la cible contient un code qui désactive les broches JTAG/SWD.

Hot Plug : Permet la connexion à la cible sans arrêt ni réinitialisation. Ceci est utile pour mettre à jour les adresses RAM ou les registres IP pendant que l'application est en cours d'exécution.

- ✓ **Mode de réinitialisation :**

Réinitialisation du système logiciel : Réinitialise tous les composants du STM32 sauf le Debug via le registre de contrôle d'interruption et de réinitialisation de l'application Cortex-M (AIRCR). Cortex-M via l'AIRCR (Application Interrupt and Reset Control Register).

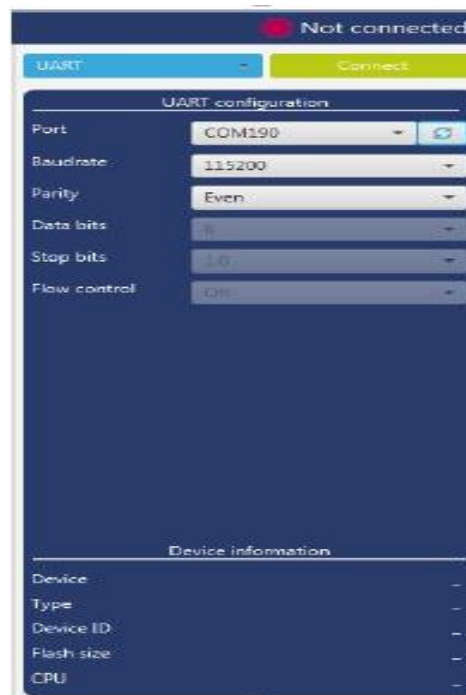
Réinitialisation matérielle : Réinitialise le dispositif STM32 via la broche nRST. La broche RESET du connecteur JTAG (broche 15) doit être connectée à la broche de réinitialisation du dispositif.

Réinitialisation du noyau : Réinitialise uniquement le noyau Cortex-M via l'AIRCR.

- ✓ **Partagé :** Active le mode partagé permettant la connexion de deux ou plusieurs instances de STM32CubeProgrammer ou autre débogueur à la même sonde ST-LINK.
- ✓ **Chargeur externe :** Affiche le nom du chargeur de mémoire externe sélectionné dans le panneau "External loaders" accessible depuis le menu principal (menu Hamburger).
- ✓ **Tension cible :** La tension cible est mesurée et affichée ici.
- ✓ **Firmware version :** Affiche la version du firmware ST-LINK. Le bouton Firmware upgrade vous permet de mettre à jour le firmware ST-LINK.

❖ Paramètres UART

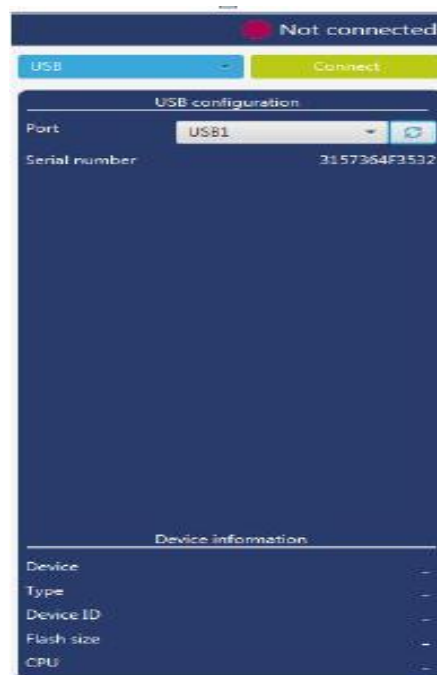
Figure IV.8 : Panneau de configuration de l'UART



- ✓ **Port** : Sélectionne le port com auquel le STM32 cible est connecté. Utilisez le bouton de rafraîchissement pour vérifier à nouveau le port com disponible sur le PC.
- ✓ **Baudrate** : Sélectionne le débit en bauds de l'UART.
- ✓ **Parité** : Sélectionne la parité (paire, impaire, aucune). Doit être 'even' pour tous les dispositifs STM32.
- ✓ **Bits de données** : Doit être toujours 8. Seules les données de 8 bits sont supportées par le STM32.
- ✓ **Bits d'arrêt** : Doit toujours être 1. Seul un bit d'arrêt de 1 bit est supporté par le STM32.
- ✓ **Contrôle de flux** : Doit toujours être désactivé.

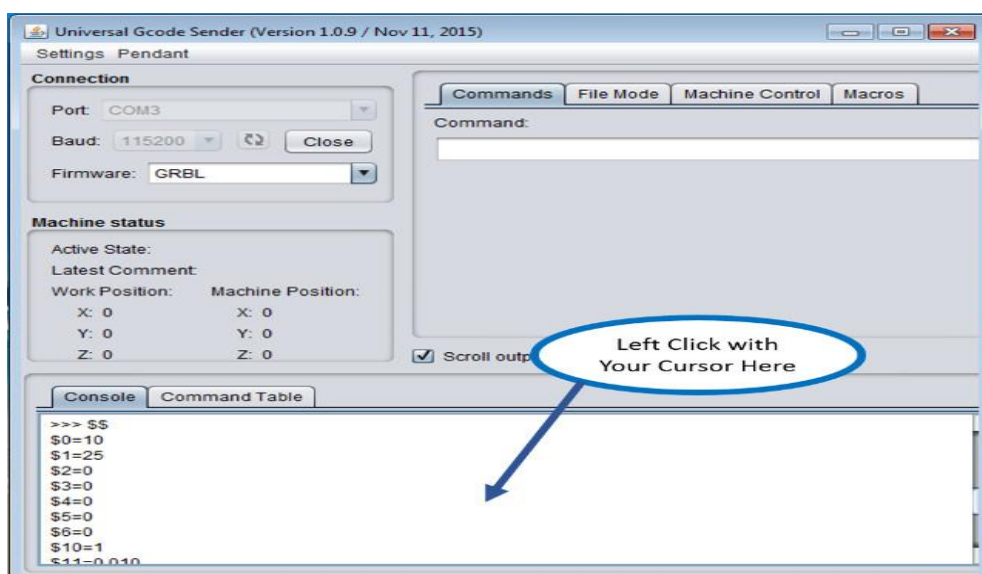
❖ Paramètres USB

- ✓ **Port** : Sélectionne les périphériques USB en mode DFU connectés au PC. Vous pouvez utiliser le bouton pour vérifier à nouveau les périphériques disponibles.

Figure IV.9: Panneau de configuration USB

IV.5.Définition de Grbl [5]

est un firmware de haute performance conçue pour contrôler le mouvement des machines praticable sur Arduino, STM32...,etc. Il a été adapté pour être utilisé dans certaines projets comme les machine CNC et les imprimantes 3D, Le programme est écrit en C hautement optimisé utilisant chaque fonctionnalité intelligente de l'AVR-puces pour atteindre un timing précis et le fonctionnement asynchrone.

Figure IV.10: Menu principale de GRBL

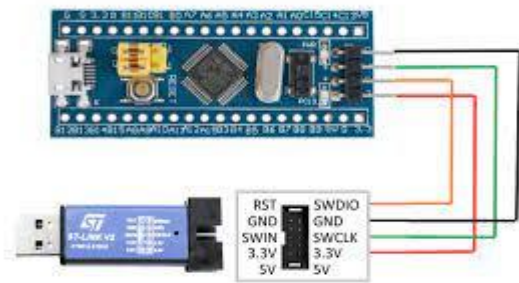
Il est capable de maintenir plus de 30 kHz de la stabilité, la rapidité des impulsions de commande libres. En 2009, Simen Svale Skogsrud a honoré la communauté open-source en écrivant et en libérant les premières versions de Grbl à tout le monde. Depuis 2011, Grbl va de l'avant comme un projet open-source mené par la communauté sous la direction pragmatique de Sonny Jeon Ph.D. (chamnit) [22].

IV.6.Connecter Grbl à la carte STM32

Etape 01:

Connectez votre carte STM32 avec st-link V2 (mode ST-link), voir la figure (IV.11) .

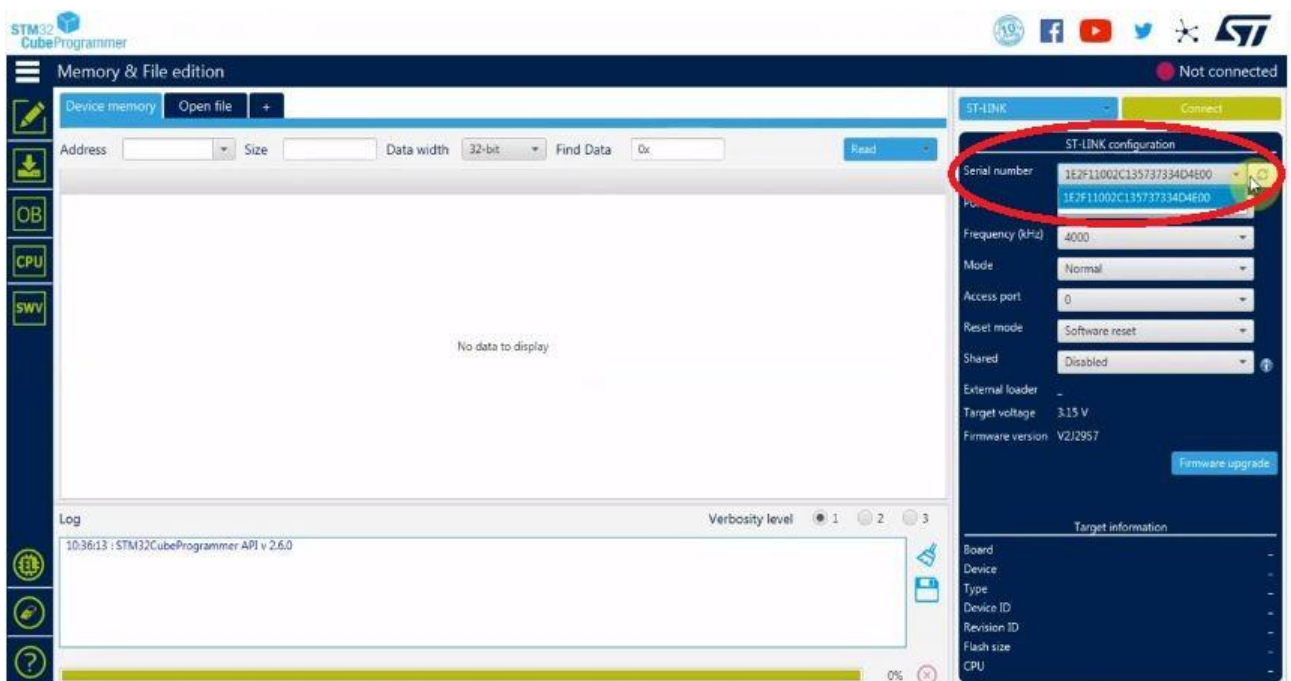
Figure IV.11: diagramme de connexion st-link V2 avec la carte STM32



Etape 02:

Dans cette étape ouvrir le logiciel STM32CubeProrammer et choissiez dans " **ST-link configuration** " votre " **serial number** ", voir la figure (IV.12)

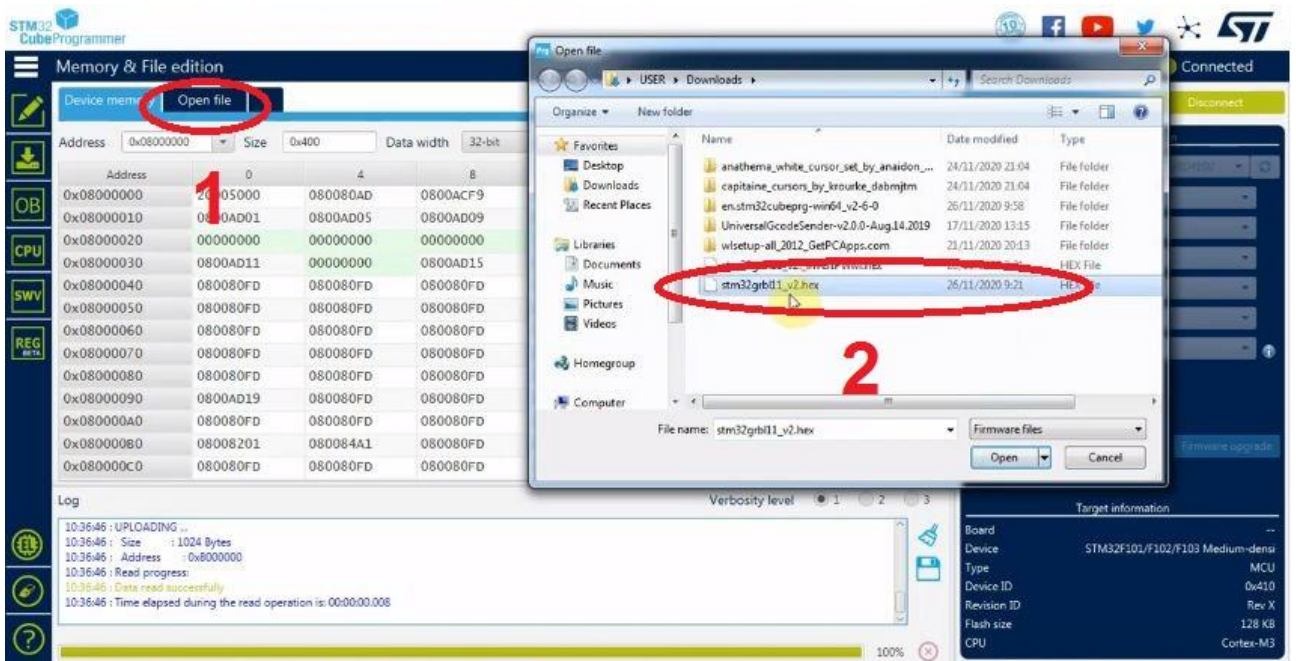
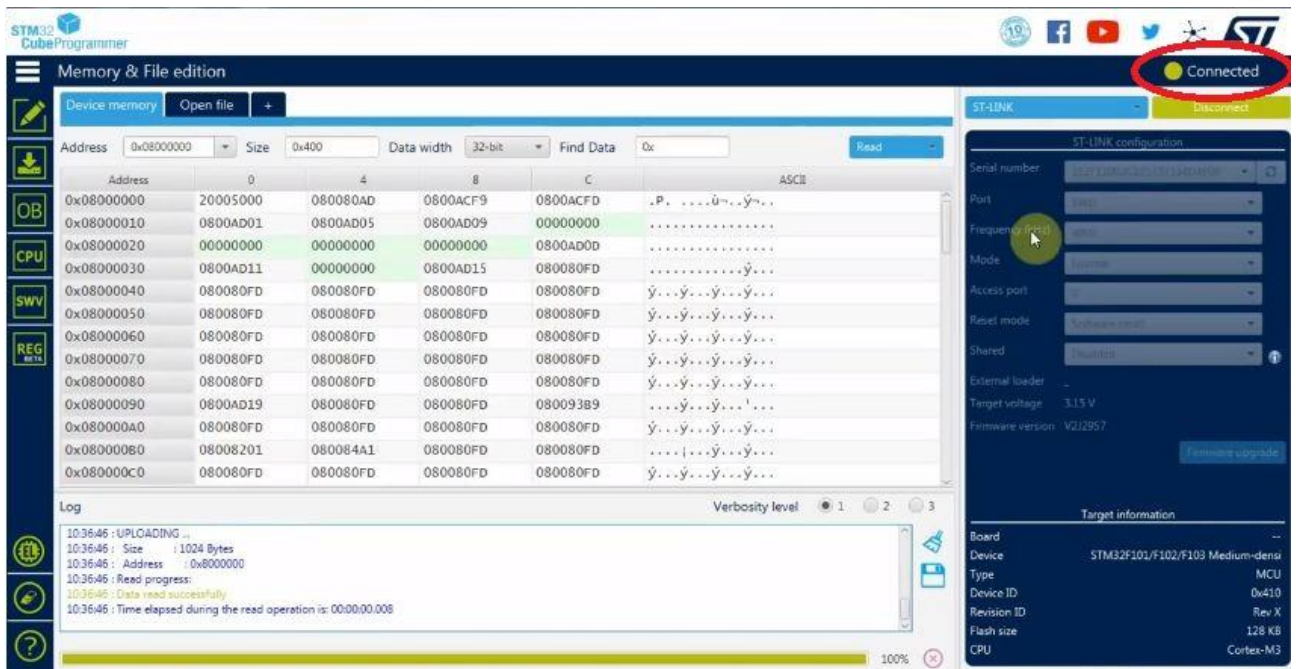
Figure IV.12: STM32CubeProrammer



Etape 03:

Cliquez sur "Connect " pour connecter votre carte avec le logiciel STM32CubeProgrammer

Figure IV.13: connectée STM32CubeProrammer avec la carte STM32 et sélectionner le fichier hex

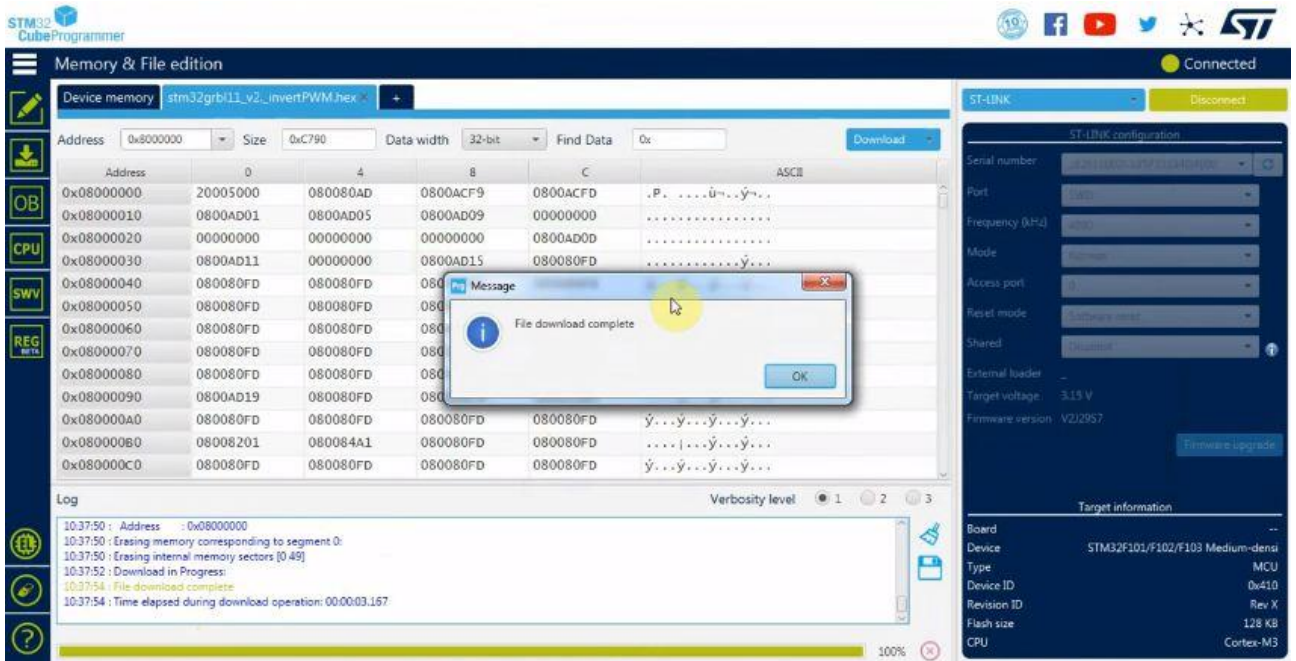
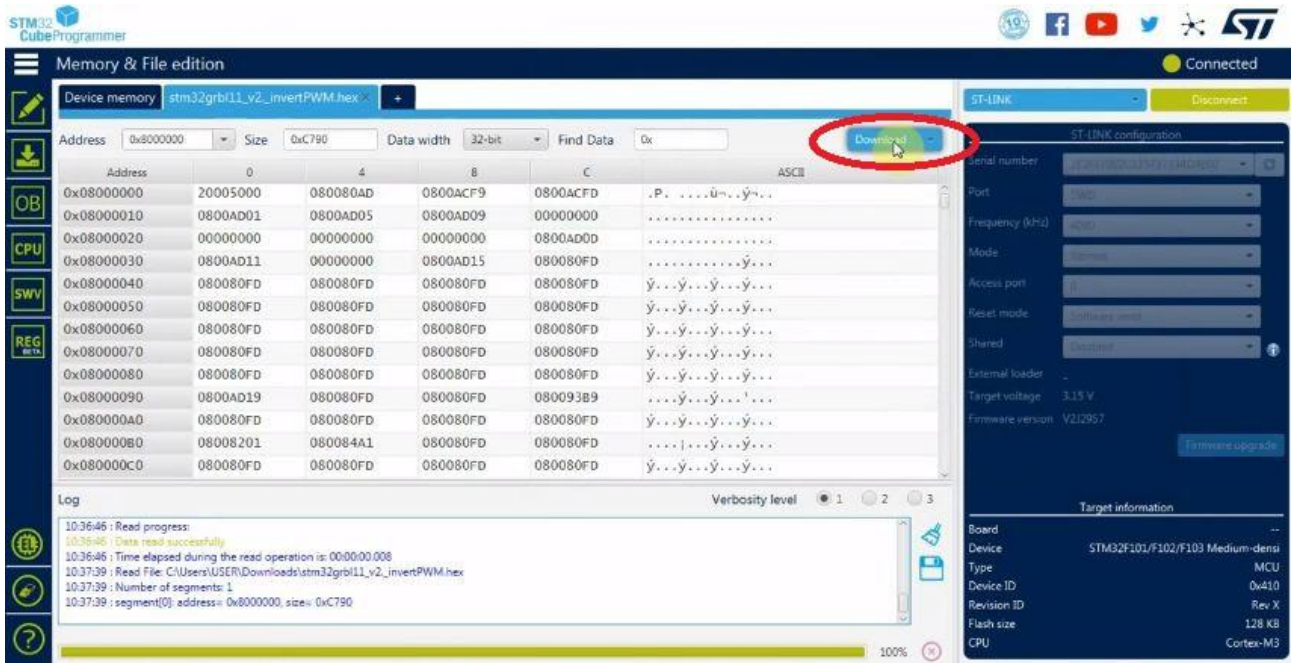


Après d'assurer la connexion de votre carte STM32 avec le logiciel, cliquez sur le fenêtre " Open file" et sélectionner le fichier hex de Grbl pour la machine CNC router ou laser .

Etape 04:

Cliquez sur "**Download**" pour télécharger le fichier hex de Grbl concernant STM32 router ou laser dans la carte STM32 et lorsque cette opération être fini vous allez recevoir un boîte de dialogue "**File download is complete** " comme les deux fenêtres de la figure (IV.13) illustre .

Figure IV.14: sélectionner le fichier hex dans la carte STM32



IV.7.Conclusion

Dans ce quatrième chapitre nous avons présenté la carte STM32F429, le logiciel STM32CubeMx et le logiciel STM32CubeProgrammer, en suite nous avons montré le Grbl et commente télécharger le fichier hex de Grbl concernant STM32 router ou laser dans la carte STM32.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre projet de fin d'étude consiste à la génération et l'implémentation d'un code sur la machine CNC 3D à base de la carte STM32F439 utilisant solidWork et SolidCAM avec l'exploitation de notre l'expérience académique et professionnel le savoir-faire dans le domaine mécanique et électronique. pour atteindre cet objectif il est nécessaire de suivre une série d'étapes .

On fait présenter de le première partie des généralités sur la commande numérique et les machines à commande numérique par ordinateur tel que la technologie CNC leur structure et leur différents types et les domaines d'utilisations.

Ensuite nous avons présenté logiciel de conception assisté par ordinateur solidwork leur barres d'outils et leur commandes (d'esquisse , fonctionnalités ,Dimxpert ...etc .) Avec la démonstration d'une exemple appliqué illustre quelques technique nécessaire (l'extrusion, enlèvement de matière extrudé,...etc .) pour faire le design d'une pièce mécanique.

Puis on a utilisé l'outil de la fabrication assistée par ordinateur qui est le logiciel solid cam pour générer le fichier g -code le logiciel Camworks pour la simulation d'usinage pour les différents stratégie d'usinage qui sont : Pocket in, pocket out, zig zag, zig, spiral in, spiral out, plunge rough.

Finalement nous avons consacré le quatrième partie à la carte STM32f429 et le firmware Grbl nous avons montré des étapes pour télécharger le fichier hex de la machine CNC 3D spindle à la carte STM32 en utilisant le logiciel STM32CubeProgrammer pour réaliser cette opération

En perspective on souhaite que cette étude soit vérifiée par une étude expérimentale réelle dans le futur si les moyens le permettent.

Liste des références

Liste des références

- [1] Z. Ahmed Said , 2019 , étude et réalisation d'une pièce sur machine à commande numérique type F1 CNC EMCO, Mémoire de master , Université M'sila , Algérie .
- [2] K. Med Amine , 2013 , étude comparative des stratégies d'usinage CN : application au logo de l'université de Tlemcen , Mémoire de Master , Université Aboubakr Belkaid - Tlemcen - , Algérie .
- [3] اسلام أحمد ، ورشة التحكم الرقمي بالحاسب ، المملكة العربية السعودية : المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، 01 أغسطس 2004 .
- [4] K.Fateh , 2018 , Conception et réalisation d'une machine à commande numérique «fraiseuse » , Mémoire Master , Université SAAD DAHLAB de BLIDA , Algérie .
- [5] D.Samaini et R. Ben Kadi , 2015 , Conception et réalisation d'une machine CNC , Mémoire de Master , Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU , Algérie .
- [6] CHAPELAIN, 2004 , Programmation avancée des machines-outils, cour sur MOCN, Université de Nantes, France.
- [7] B.Fouad , 2017 , Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D ShopMill , Mémoire de Master , Université BADJI-MOKHTAR-ANNABA , Algérie .
- [8] <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-cao-4453/>.
- [9] B.Yahia , 2019 , Réalisation d'un prototype d'une machine CNC 3axes , Mémoire de Master , Université Aboubakr Belkaid - Tlemcen - , Algérie .
- [10] Fichier technique: SolidWorks/CAMWorks LabManualFor Manufacturing Systems ProgramPrepared by Professor Samuel C. Obi.
- [11] <https://www.plm.automation.siemens.com/global/fr/our-story/glossary/computer-aided-manufacturing-cam/13139>.

- [12] <http://www.solidcam.com/fileadmin/downloads/SolidCAM/doc/EN/2011/SolidCAM2011-HSM-HSR>.
- [13] Fichier technique: **UM2237 User manual** STM32CubeProgrammer software description.
- [14] Fichier technique: **UM1670 User manual** Discovery kit with STM32F429ZI MCU.