



POLYTECH[®]
TOURS

PROJET D'ETUDE

Etude de la Machine-outil à commande numérique et des langages de programmations répondants au besoin d'un atelier de lutherie

Table des matières

Remerciement.....	4
Liste des Abréviations.....	5
Introduction générale et contexte industriel.....	6
I. La machine-outil à commande numérique.....	7
I.1 Généralités.....	7
I.2 Bref historique.....	7
I.3 Les avantages.....	8
I.3.1 Automaticité.....	8
I.3.2 Adaptabilité.....	9
I.3.3 Sécurité.....	9
I.3.4 Précision.....	10
I.4 Inconvénients liés aux MOCN.....	10
I.5 Synthèse avantages/inconvénient.....	10
I.6 Anatomie de la CNC.....	11
I.6.1 La partie commande : L'ordinateur.....	11
I.6.2 La partie opérative : La machine.....	11
I.6.3 Principe.....	11
I.7 La chaîne numérique.....	12
I.7.1 La Conception Assistée par Ordinateur (CAO).....	12
I.7.2 La fabrication assistée par ordinateur (FAO).....	13
I.7.3 Le post processeur.....	13
II. Programmation de la MOCN.....	14
II.1 La norme Iso.....	14
II.2 Le langage FANUC.....	15
II.3 Le langage NUM.....	15
II.4 Le langage SIEMENS.....	15
II.5 Le langage HEIDENHAIN.....	15
II.6 Le langage PROFORM.....	15
II.7 Le langage MAZATROL.....	16
II.8 Rôle du post-processeur dans la programmation.....	16
II.9 Langue de contrôleurs numériques « G-code ».....	16
II.9.1 Description.....	16

II.9.2	Les lacunes du code G	17
III.	Mise en œuvre des MOCN	17
III.1	Critères de choix du matériel	18
III.1.1	Choix de la machine	18
III.2	Choix du système de CN	19
III.3	Environnement.....	19
III.4	Moyens humains.....	19
III.4.1	Conséquences sur les services de l’entreprise	20
III.5	Conclusion	20
IV.	Etude préliminaire du projet	20
IV.1	Analyse fonctionnelle du besoin	20
IV.2	Validation du besoin	21
IV.2.1	Pourquoi le besoin existe-t-il ?	21
IV.2.2	Quelles sont les forces et les faiblesses de ce projet (Matrice SWOT) ?	21
IV.3	Définition des ressources	22
IV.3.1	Les ressources techniques	22
IV.3.2	Les techniques	22
IV.4	Les ressources financières.....	23
IV.5	Produits retenus.....	25
IV.5.1	CNC Entrée de gamme :.....	25
IV.5.2	CNC Plus haute gamme.....	25
V.	Conclusion.....	26

Remerciement

Je tiens à remercier mes professeurs et tous les représentants de la formation et l'école POLYTECH de TOURS, piliers fondateurs de ma formation d'ingénieur.

Je remercie également Monsieur DELALANDRE Mathieu pour l'aide et les conseils concernant ce projet d'étude.

Enfin, je tiens naturellement à remercier Monsieur GOUGEON Maxime, responsable de l'atelier de lutherie pour son partage de connaissance, notamment autour des éléments constituant une guitare et de sa construction lors de l'étape de rainurage d'un manche de guitare.

Liste des Abréviations

MOCN	Machine-Outil à Commande Numérique
CNC	Commande Numérique par Calculateur.
CN	Commande Numérique
MO	Machine-Outil
ISO	International Standard Organisation
EIA	Electronique industries alliance
MFI	Mike Free Interface
PO	Partie Opérative
PC	Partie Commande
FAO	Fabrication Assisté par Ordinateur
CAO	Conception Assisté par Ordinateur

Introduction générale et contexte industriel

L'objectif de ce projet est de réaliser l'étude d'une machine à commande numérique et de son langage de programmation.

Intervenant en qualité d'apprenti ingénieur dans le cadre de projet d'étude, l'objectif principal est d'effectuer un travail de recherche autour de la CNC afin de permettre la mise en place d'une fraiseuse numérique pour un atelier de lutherie. La CNC réalisera une opération de slottage (rainurage de touche) d'un manche de guitare.

De manière générale la lutherie ou facture instrumentale concerne la conception de tous types d'instruments de musique (toutes classes organologiques confondues).

La problématique se résume en général par les contraintes liées à l'usinage de bois dur et d'un rainurage de haute précision.

Pour cette raison, le travail consiste à étudier la capacité d'une CNC à effectuer cette opération en tenant compte de plusieurs contraintes imposées : Rigidité, précision, adaptabilité.

Dans la première partie, il s'agit de réaliser l'étude préliminaire qui consiste à bien identifier le rôle des éléments constitutif de la machine. L'idée la plus essentiel dans ce projet est d'effectuer un important travail de recherche afin d'offrir les meilleures options d'une CNC afin d'effectuer cette opération de slottage.

Le deuxième chapitre, présente les différentes phases de l'analyse fonctionnelle qui permettent de recenser, caractériser et construire un projet afin de déduire toutes les questions et sous questions liées au déroulement d'un projet.

I. La machine-outil à commande numérique

La machine-outil à commande numérique représente aujourd'hui le moyen de production le plus important des pièces mécaniques. Au fil des années, cette dernière a subi des modifications, et le couple outil machine-outil s'est adapté aux exigences de productivité modernes.

I.1 Généralités

Une machine-outil à commande numérique (**MOCN**, ou simplement **CN**) est d'un point de vue fonctionnel, identique à une machine d'usinage traditionnelle. La principale différence réside dans le fait que le contrôle des fonctions de la machine et des déplacements du support d'outil par rapport à celui de la pièce, telles que la rotation de la broche, les déplacements d'outil ne sont plus attribués à l'opérateur mais au contrôleur de la machine

Apparue, il y a maintenant quelques décennies, la **MOCN** a été conçue pour piloter l'usinage d'une pièce à partir des instructions d'un programme et ainsi s'affranchir de l'opérateur pendant l'exécution de celui-ci. Un pas important dans l'automatisation des machines-outils traditionnelles.

Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle parfois de machine **CNC** (computer numerical control). Ainsi, l'ensemble des données relatives à la réalisation d'une pièce sont traités en temps réel et constituent tout ou partie du programme d'exécution de la **CNC**.

Aujourd'hui, les performances de la **CN** ne cessent de croître tandis que le prix à l'achat et son encombrement ne cessent de diminuer.

A ce titre, elle est de plus en plus accessible et devient à la portée de tous les secteurs industriels. Cependant, afin d'obtenir une qualité d'usinage supérieure, celle-ci demandera des connaissances avancées en programmation et une parfaite maîtrise des fonctionnalités de la **CN**.

Cette introduction nous a permis d'introduire quelques généralités sur la **CN**. Il s'agit maintenant de réaliser un rapide rappel historique de l'évolution de la **CN** afin d'aborder au mieux les composants physiques de la machine-outil.

I.2 Bref historique

L'histoire de la machine-outil n'est pas récente, la technique de l'usinage est à été développée dès le 18^{ème} siècle. En effet, c'est en 1751 que *Jacques de Vaucanson* invente le premier « tour à chariot à bâti métallique », premier d'une longue série de machines qui auront pour but

de réaliser mécaniquement des opérations plus précises qu'au moyen des techniques artisanales.

À la suite de cette invention les travaux menés par Falcon et Jacquard à la fin du XVIII^{ème} 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 de la commande numérique. C'est le début de l'industrialisation.

De nombreuses machines furent inventées avant la fin du 19^{ème} siècle, mais c'est lors de la Guerre Froide que l'on se penche sur le développement de l'automatisation. C'est à ce moment-là que la société *Parsons Works* se voit confier par l'US Air Force¹ la mission d'améliorer la productivité des chaînes de fabrication, complexe et fastidieux processus de fabrication et de contrôle des surfaces gauches des pales d'hélicoptère. *John T Parsons* va alors motoriser les axes des machines chargées de fabriquer ces pales. En travaillant ensuite avec IBM, il va étudier les possibilités de commander par ordinateur ces machines. Ce sont les prémises de la méthode d'usinage CNC.

C'est en 1952 que Richard KEGG, travaillant conjointement avec le MIT (concepteur des servo-contrôleurs), développe la première fraiseuse à commande numérique par ordinateur : la Cincinnati Milacron Hydrotel. Sur la base des succès précédents et après cinq ans à industrialiser le concept, c'est en 1958, que le brevet intitulé « Motor Controlled Apparatus for Positioning Machine Tool » donne la naissance commerciale de cette technologie.

General Electric sera historiquement le premier fabricant industriel de commandes numériques, rejoint en 1962 par son voisin japonais, FANUC.

En 1980, le parc de MOCN en France était estimé à un peu plus de 10.000 machines mais leur part dans la production était beaucoup plus importante, car ce sont des machines plus modernes, plus performantes et utilisées de manière plus intensive.

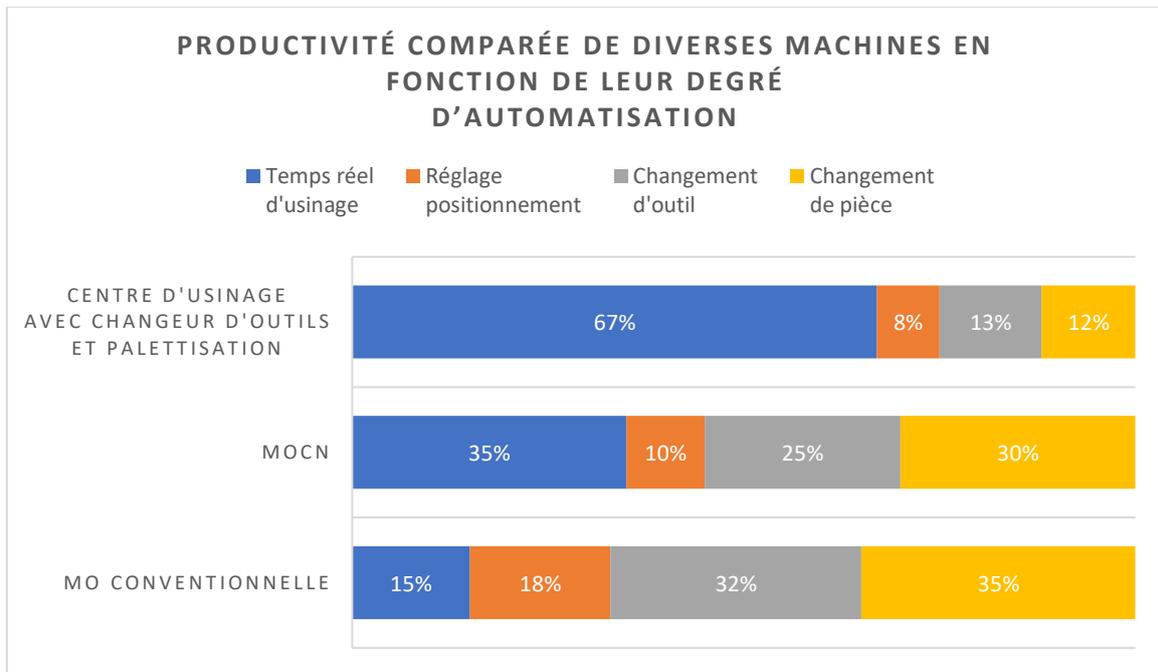
I.3 Les avantages

I.3.1 Automaticité

Aujourd'hui, les CNC ne demande que très peu ou pas d'intervention lors de l'usinage d'une pièce. En effet, la majorité peuvent fonctionner sans assistance et ainsi permettre une estimation constante du temps d'usinage de la production d'une pièce.

Les risque d'accident liées à une fatigue mentale et physique sont très largement réduit.

De nos jours, la machine-outil a permis au secteur de l'industrie de gagner en efficacité et est devenue indispensable pour certains secteurs de mécanique de précision : Aéronautique, Automobile, Ferroviaire...



I.3.2 Adaptabilité

Commandé depuis un programme, les MOCN permettent d'usiner des nombreuses pièces distinctes aussi facilement que l'on charge un nouveau programme.

La difficulté de l'usinage d'une pièce repose donc sur le temps de chargement de son programme. Une facilité de production qui peut répondre parfaitement à une production en flux tendus en réduisant les en-cours

Une adaptabilité d'utilisation qui représente de nombreux avantages liés à la productivité, telle que la prise en compte rapide des modifications ou de la définition des conditions optimales d'usinage.

I.3.3 Sécurité

L'évolution des MOCN ont énormément contribuées à l'amélioration de la sécurité.

Notamment grâce à la surveillance temps réel de l'usinage en cours. Comme par exemple, l'ouverture d'une porte, la détection d'une main, d'un pied dans une zone interdite, le dépassement d'une vitesse d'axe par rapport à une consigne, déclenchent aussitôt une action programmée en interrompant le déroulement et en alertant l'opérateur en cas d'incident.

Aussi, l'utilisation de simulation graphique hors usinage des programmes permettent de vérifier et de détecter les risques éventuels de collision.

Aujourd'hui, le niveau de performances très élevé atteint par les MOCN conduit les constructeurs à prévoir des dispositifs de protection très élaborés afin de prévenir le moindre risque durant les opérations d'usinage.

I.3.4 Précision

Nous l'avons vu, la réputation des MOCN n'est plus à refaire en ce qui concerne leur adaptabilité. Attardons-nous maintenant sur le deuxième plus gros avantage de ces machines. Leur extrême précision.

En effet, il convient de souligner que la CN offre de nouvelles perspectives en permettant l'usinage de pièces complexes qu'il est pratiquement impossible de concevoir et de fabriquer sur des MO conventionnelles.

Son principe est d'enlever progressivement de la matière autour d'une pièce brute afin d'obtenir le dimensionnement précis de celle-ci. Par ce moyen, et par le moyen de contrôle précis du positionnement des axes, il est alors possible d'obtenir des pièces d'une très grande précision de façon totalement ou partiellement automatique.

I.4 Inconvénients liés aux MOCN

On distingue plusieurs inconvénients liés au MOCN.

- Investissement initial important.
- Rentabilité non immédiate.
- Nécessite un personnel qualifié (programmeur, régléur et opérateur).
- Maintenance préventive rigoureuse.
- Outillage coûteux.
- Nécessite des équipements annexes : ordinateur, logiciel, banc de réglage des outils, changeur d'outils...

I.5 Synthèse avantages/inconvénient

Automaticité, adaptabilité, sécurité et précision sont les qualités principales des MOCN. De part ces avantages, elle devient économiquement intéressante pour produire toutes sortes de pièces, même les plus simple et cela dans un temps de production record. De la même manière, nous notons également la facilité avec laquelle une modification peut être prise en compte afin d'effectuer un redimensionnement de pièce.

De ce fait, le temps improductif devient nul par opposition au temps de productivité qui accroit de façon exponentielle.

Une fois validé un seul programme peut assurer la réalisation de 2, 10 ou même 1000 pièces identique avec la même précision et la même qualité d'usinage sans opérateur.

I.6 Anatomie de la CNC

Actuellement une machine-outil à commande numérique (MOCN) est dotée de calculateur ou contrôleur embarquée. Celui-ci assure le contrôle des fonctions telle que la rotation de la broche, le positionnement de l'outil avec la pièce.

La machine-outil à commande numérique forme un ensemble comprenant deux parties qui sont complémentaires l'une de l'autre, la partie commande et la partie opérative.



Figure 1 Décomposition d'une machine numérique

I.6.1 La partie commande : L'ordinateur

La commande numérique avec calculateur va gérer et déterminer tous les déplacements des outils ou de la pièce.

Il suffit de lui préciser les coordonnées des points :

- Position de départ (origine)
- Position à atteindre (arrivée)
- Changement de direction (horaire et anti-horaire)
- Dégagement (point de sortie)
- La vitesse

I.6.2 La partie opérative : La machine

La partie opérative est la machine-outil. Elle comporte les axes de déplacement et la tête. La partie commande permet de piloter la partie opérative. Elle est composée d'un calculateur (CNC) et d'éléments électroniques capables de piloter les moteurs.

Les tâches effectuées sur le site de la partie opérative sont :

- Chargement et déchargement.
- Chargement et déchargement (outils port outils).
- Intervention manuelles nécessitées par l'usinage et l'entretien.

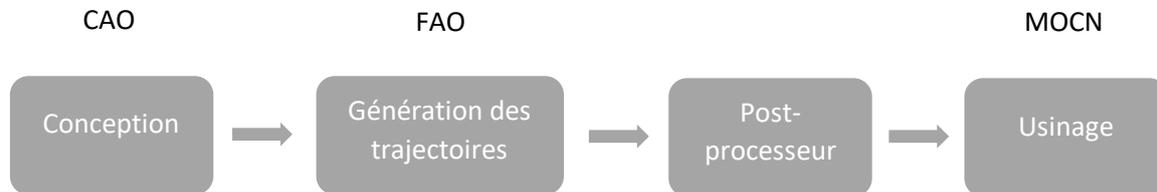
I.6.3 Principe

Des ordres vont être générés vers la commande par le biais d'un code machine 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.

I.7 La chaîne numérique

Dans le cadre de notre étude, nous pourrions simplifier notre vision de la chaîne numérique à un schéma réduit et pratique sous forme graphique :



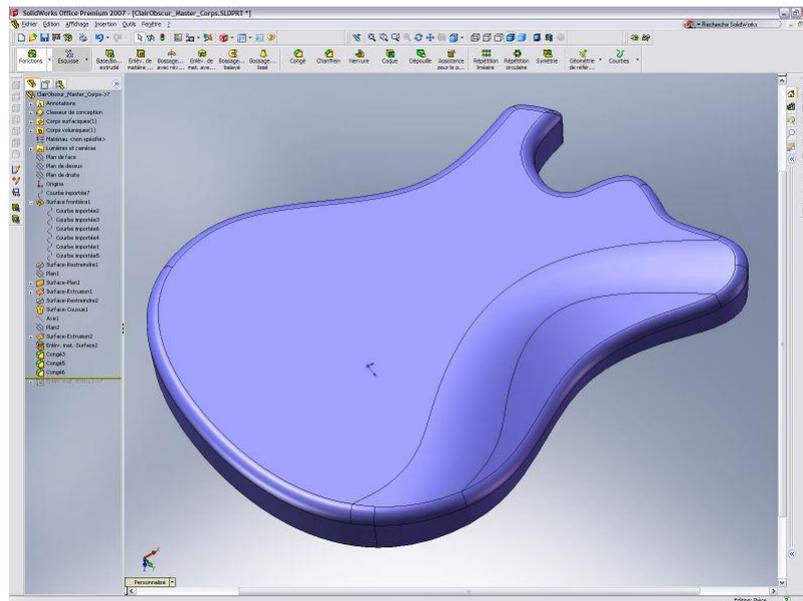
Le flux de données circule verticalement de la conception jusqu'à l'usinage. La maquette CAO est envoyée en FAO sous la forme d'un format standard.

I.7.1 La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

La CAO peut être définie comme un ensemble d'outils permettant d'aider le concepteur mécanique dans la définition d'un produit. Le CAO permet de concevoir des formes de deux dimensions ou trois dimensions avec une notion de volume et de matière. Une étape nécessaire avant de pouvoir piloter une machine-outil à commande numérique.

La conception de la pièce et son dessin sont réalisables avec un logiciel de CAO (Conception assistée par ordinateur). Il faut maintenant garder à l'esprit que la CNC va rogner, découper dans la matière brute. On nomme le fichier ainsi obtenu "DFN" pour Définition de Formes Numérisées.

Cette modélisation est ensuite « exportée » dans un fichier intermédiaire en utilisant un standard d'échange comme IGES, STEP, DXF ou autre.



Ensuite, il va falloir déterminer les instructions détaillant les différentes étapes de l'usinage de la pièce avec un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO). Exportée dans un fichier intermédiaire lors de la conception en un standard d'échange comme IGES, STEP, DXF ou autre.

Dans d'autres cas, la CAO et la FAO sont complètement intégrées et ne nécessitent pas de transfert.

Pour ces progiciels, on parle de CFAO.

1.7.2 La fabrication assistée par ordinateur (FAO)

La Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO) peut être définie comme l'ensemble des logiciels et des techniques informatiques qui permettent la programmation d'usinage et la génération des parcours outils en s'appuyant sur le modèle géométrique.

Après avoir conçu votre pièce à l'aide d'un logiciel de CAO, la pièce est ensuite traitée par un logiciel de FAO dont le but est de préparer l'usinage par la génération de trajectoires, d'outils, de paramètres de coupe.

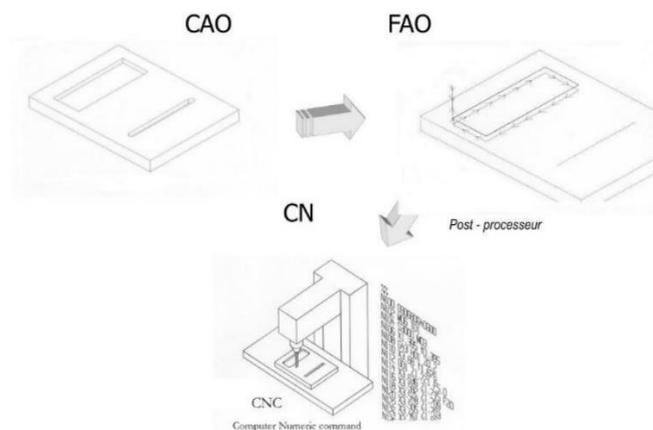
Une fois cette phase terminée, un fichier CL (Cutter location) est ainsi obtenu afin être post-traité pour pouvoir être lu par la commande numérique. Le logiciel de FAO permet ainsi de "superposer" les trajectoires des outils choisis sur la modélisation 3D et d'enregistrer cette programmation.

1.7.3 Le post processeur

Le post-processeur (PP) est un outil qui permet d'obtenir après la phase de FAO les trajectoires neutres des trajectoires en repère utilisable par une CNC. Celui-ci tient compte de la cinématique de la MOCN et ses courses et de ses capacités.

Le Post-processeur se résume donc à un programme informatique qui assure la traduction entre le programme issu de la FAO et le programme assimilable par la MOCN.

Les formats d'échange entre la CAO et la FAO, l'utilisation de Post-processeurs, la génération du code de programmation G sont donc autant d'étapes qui introduisent des approximations et erreurs se répercutant directement sur l'usinage. D'autant que chaque logiciel de FAO a lui aussi ses propriétés qui font que le PP d'un logiciel A ne sera pas le même que le PP d'un logiciel B pour la même machine-outil.



II. Programmation de la MOCN

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer, sous forme de texte alphanumérique des instructions qui doivent contenir toutes les données nécessaires à la commande et au séquençement des opérations à réaliser pour assurer l'usinage de la pièce sur la machine.

Aujourd'hui, la plupart du temps ce travail n'est plus effectué manuellement mais avec l'assistance partielle ou complète d'un ordinateur utilisant un logiciel de dessin ou du modèle 3D. une série de processus permet d'obtenir les programmes pièce.

La programmation actuelle des machines-outils se fait par l'intermédiaire du langage G ou Gcode dont les principes sont regroupés dans la norme Iso 6983.

II.1 La norme Iso

Développé par l'EIA au début des années 1960 le langage de programmation était à l'origine, le code G basé sur un principe datant de la période des machines-outils à cartes perforées. Cette programmation permet à l'utilisateur de communiquer l'ensemble des instructions permettant à la machine d'effectuer une suite d'actions et de déplacement.

Normalisé par l'ISO* en 1980 sous la référence (ISO 6983), ce langage est aujourd'hui énormément répandu et sert de base à beaucoup de langages actuels.

Répondent aux normes internationales ISO 6993, ce langage possède un certain nombre de lignes d'écriture appelées blocs d'information, chaque ligne correspondant à une étape particulière du processus d'usinage.

Chaque bloc, ou séquence d'usinage, contient une suite de mots. Un mot est un ensemble de caractères alphanumériques.

II.2 Le langage FANUC

Le langage Fanuc prend pour base le langage ISO de 1980. Il ajoute des fonctions supplémentaires ce qui en fait un langage unique.

Les spécificités du langage sont :

- Parenthèses pour les commentaires
- Appel de sous programmes avec M98
- Points virgules en fin de blocs

II.3 Le langage NUM

Le langage NUM prend pour base le langage ISO. Il ajoute des fonctions supplémentaires ce qui en fait un langage unique.

Les spécificités du langage sont :

- Parenthèses pour les commentaires
- Appel de sous programmes avec G77

II.4 Le langage SIEMENS

Le langage SIEMENS prend pour base le langage ISO. Il ajoute des fonctions supplémentaires ce qui en fait un langage unique. Les spécificités du langage sont :

- Points virgules pour les commentaires
- Des appels de cycles.

II.5 Le langage HEIDENHAIN

Le langage HEIDENHAIN est un langage inventé par les Allemands pour animer principalement des robots CNC conversationnels. Ce langage ne représente pratiquement aucun éléments du code ISO.

II.6 Le langage PROFORM

Le langage PROFORM a été inventé de toute pièce pour les robots érosion charmillé. Langage devenu totalement obsolète.

II.7 Le langage MAZATROL

Mazatrol utilise son propre langage de programmation conversationnel et intuitif. L'idée de leur langage est de réduire la complexité et la longueur du programme (il revendique 80% de réduction de code).

II.8 Rôle du post-processeur dans la programmation

Si l'on reprend le schéma simplifié de la chaîne numérique en usinage, on observe que les post-processeurs a pour rôle d'adapter la traduction des trajectoires en langage compréhensible pour la CNC, c'est-à-dire en code G : Le post processeur est un élément indispensable de la chaîne numérique dans la mesure où celui-ci permet d'adapter le programme aux spécificités d'une machine en particulier.

Il existe donc des post-processeurs différents pour chaque constructeur et chaque modèle de machine. De la même façon, chaque logiciel de FAO a lui aussi ses propriétés qui font que le post-processeur d'un logiciel A ne sera pas le même qu'un post-processeur d'un logiciel B pour la même machine-outil !

Il existe donc aujourd'hui presque autant de post processeurs que de combinaisons entre logiciels de FAO et machines : on estime leur nombre à presque 4500 variantes principales. Outre le fait qu'ils constituent une étape supplémentaire entre la FAO et l'usinage (donc pertes possibles d'informations par exemple par approximation des trajectoires), la lecture du code G et la visualisation des trajectoires d'usinage qui en résulte s'avèrent difficile. De plus, il apparaît très clairement que l'utilisation de post-processeurs ne permet pas de répercuter sur la CAO-FAO les modifications qui ont pu être apportées au pied de la machine sur le code G (pas de « feed-back » possible).

II.9 Langue de contrôleurs numériques « G-code »

II.9.1 Description

Le G-code est le langage de programmation des machines numériques est basé sur des lignes de code. Chaque ligne (également appelée un *bloc*) peut inclure des commandes pour effectuer diverses actions à la machine. Plusieurs lignes de code peuvent être regroupées dans un fichier pour créer un programme G-code.

Une ligne de code typique commence par un numéro de ligne optionnel suivi par un ou plusieurs *mots*. Un mot commence par une lettre suivie d'un nombre (ou quelque chose qui permet d'évaluer un nombre).

Un mot peut, soit donner une commande, soit fournir un argument à une commande.

Par exemple, *G1 X3* est une ligne de code valide avec deux mots.

G1 est une commande qui signifie déplaces toi en ligne droite à la vitesse programmée et *X3* fournit la valeur d'argument (la valeur de X doit être 3 à la fin du mouvement). La plupart des

commandes G-code commencent avec une lettre G ou M. Les termes pour ces commandes sont *G-codes* ou *M-codes*.

Le langage G-code n'a pas d'indicateur de début et de fin de programme. L'interpréteur cependant traite les fichiers. Un programme simple peut être en un seul fichier, mais il peut aussi être partagé sur plusieurs fichiers.

II.9.2 Les lacunes du code G

Ainsi, le code G est utilisé afin de programmer une trajectoire en respectant les mouvements des axes machine plutôt que de se concentrer sur les besoins de l'usinage en respectant la pièce.

Nous pouvons en particulier noter les principales lacunes qui posent des problèmes lors de la programmation et de manière plus générale dans l'intégration de l'usinage dans la chaîne CAO-FAO-CN :

- La sémantique peut parfois s'avérer ambiguë
- Les constructeurs rajoutent parfois des extensions au langage pour combler les manques et s'adapter à l'évolution des technologies. La « portabilité » d'un programme s'avère très problématique entre les différents fabricants. Le flux de l'information est unidirectionnel : l'absence de « feedback » possible de la production à la conception entraîne des difficultés de communication et de correction. De même, la préservation et la capitalisation des expériences se révèlent compliquées.
- L'utilisation du code G rend les modifications au pied de la machine, dans la CN, difficiles et laborieuses ainsi qu'un contrôle limité de l'exécution du programme.
- L'utilisation de post-processeurs rajoute une étape et une perte d'information entre le modèle CAO et l'usinage de la pièce. La vérification de la conformité de la pièce qui doit être usinée avec le modèle CAO est alors complexe voire impossible.
- Le G-code n'est pas bien adapté pour la programmation des courbes complexes. Des pertes d'informations peuvent être engendrées lors de discrétisations et d'approximations.

Pour conclure, nous pouvons voir que le G-code, qui est basé sur des principes qui commencent à dater, ne répond plus aux exigences de programmation des usinages nouveaux et que son emploi constitue une rupture dans la chaîne numérique.

III. Mise en œuvre des MOCN

Lors de notre étude, nous avons pu effectuer plusieurs observations et avons effectué une étude de faisabilité. En effet, la mise en œuvre de la MOCN dans l'entreprise nécessite de respecter certaines règles de façon à préparer, dans des conditions optimales, l'intégration de cette technologie.

Cette phase de la mise en œuvre passe par trois grandes étapes :

1. le choix du matériel ;
2. la préparation préalable de l'entreprise et de son environnement ;
3. une analyse de rentabilité.

III.1 Critères de choix du matériel

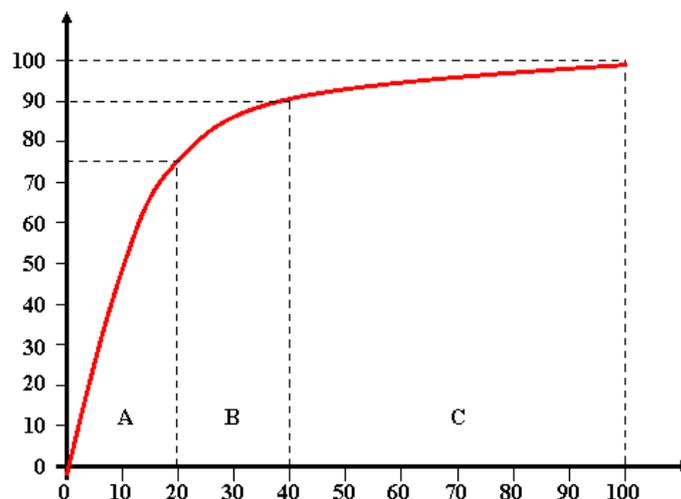
Le choix doit porter sur trois éléments constitutifs, à savoir la machine, le système de CN et l'environnement.

III.1.1 Choix de la machine

Le type de machine est sélectionné en fonction des données suivantes :

- Morphologie des pièces à usiner ;
- Dimensions et poids des pièces à usiner ;
- Précisions d'usinage demandées ;
- Quantités de pièces à usiner par lancement ;
- Nature des matériaux usinés par l'entreprise ;
- Diversité et complexité des usinages ;
- Encombrement au sol, compte tenu de l'espace disponible dans l'atelier.

On peut déterminer les fabrications représentatives et vitales pour l'activité d'une entreprise en utilisant une représentation graphique classique appelée méthode ABC (figure ci-dessous), également connue sous le nom de méthode Pareto.



Fondées sur des considérations d'ordre statistique, ces diagrammes montrent que sur l'ensemble des pièces fabriquées dans une entreprise, 20 % des références engendrent environ 80 % de la valeur ajoutée. En étudiant les références situées dans la zone A du diagramme ABC, on peut sélectionner les pièces qui correspondent aux caractéristiques de base de la nouvelle machine envisagée et, ainsi, améliorer de façon substantielle la productivité. Au besoin, on élargira ce groupe aux pièces contenues dans les zones B, puis C.

III.2 Choix du système de CN

Le choix de la CN et de ses options matérielles et logicielles est intimement lié à son niveau de performances (et surtout à son adéquation à celui de la machine), à son ergonomie, à son prix et à la qualité des prestations offertes par son fournisseur. Avant de prendre une décision définitive dans le choix d'une nouvelle MOCN, il est vivement recommandé à l'utilisateur final de la machine de se renseigner directement auprès du fabricant de la CN sur l'ensemble des possibilités logicielles que peut offrir l'équipement.

III.3 Environnement

Les critères de choix technologique du matériel ne doivent pas occulter les investissements annexes nécessaires au bon fonctionnement de la MOCN. Ils concernent notamment :

- Le matériel de programmation ;
- Les outils et les outillages
- L'implantation
- La maintenance générale de la machine ;
- L'aménagement des locaux de production (optimisation de flux).

L'utilisation optimale de la MOCN exige un aménagement profond des structures de l'entreprise. Sur le diagramme de la figure 32, on pourra estimer les délais potentiels d'introduction de la CN dans l'entreprise.

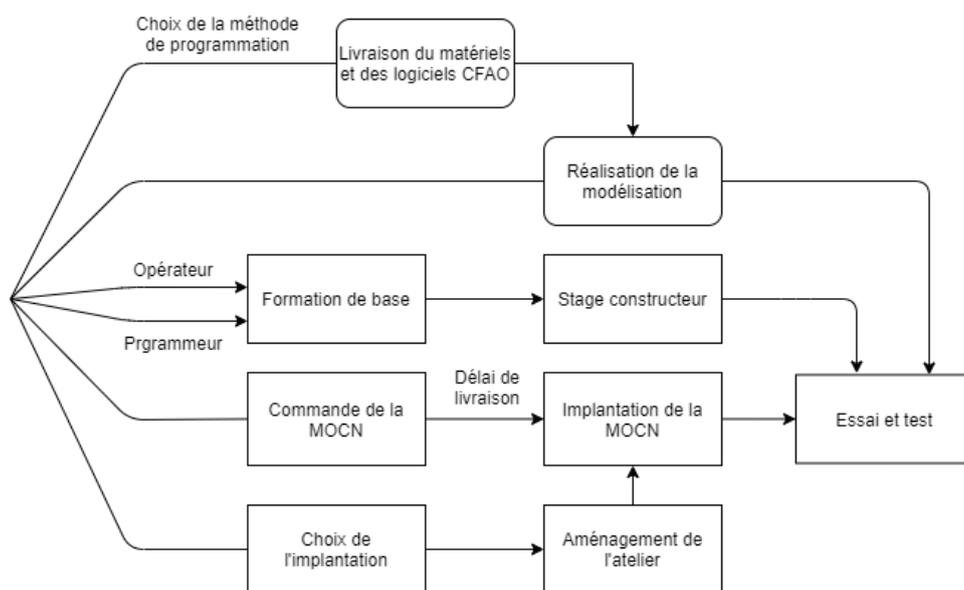


Figure 2 Diagramme temporel d'implantation d'une MOCN

III.4 Moyens humains

L'aspect humain est primordial pour obtenir une large adhésion de l'entreprise à l'arrivée d'une MOCN. On veillera en particulier à expliquer clairement ce qu'est et ce que peut apporter

réellement la CN avant de choisir et de former, à divers niveaux, le personnel concerné par l'utilisation du matériel (maîtrise, opérateur, programmeur, personnel de maintenance, etc.).

Dans la majorité des cas, il faut également prévoir un travail en plusieurs équipes.

III.4.1 Conséquences sur les services de l'entreprise

Les conséquences sur les services de l'entreprise, ne sont malheureusement pas moindres :

- Organisation des ateliers.
- Gestion de production : le service lancement-ordonnancement assure le pilotage de l'unité de production avec le maximum de fluidité, tout en vérifiant que la production réelle de la machine est conforme aux prévisions.
- Bureau d'études : il doit connaître les possibilités et les limites de la MOCN et en tenir compte dans la conception des futures pièces. Des modifications de produits existants peuvent être envisagées.
- Bureau des méthodes : chargé de la préparation des programmes d'usinage, il s'efforce de standardiser les outils et les outillages et de recourir aux multiples possibilités de la programmation pour alléger au maximum le volume des programmes (programmations paramétrée et structurée, cycles d'usinage, etc.). Une recherche permanente d'optimisation des programmes est également à l'origine de gains substantiels sur les temps d'usinage.
- Services commerciaux : de nouvelles recherches quantitatives et qualitatives peuvent être envisagées dans le domaine de la sous-traitance, de même que l'étude de nouveaux produits adaptés à de la CN.

III.5 Conclusion

Ce premier chapitre s'appuie essentiellement sur quelques notions de la machine numérique et sa commande, elles sont nécessaires pour tenir compte des contraintes que toute réalisation se rapporte à ces études qui devraient être respectées

IV. Etude préliminaire du projet

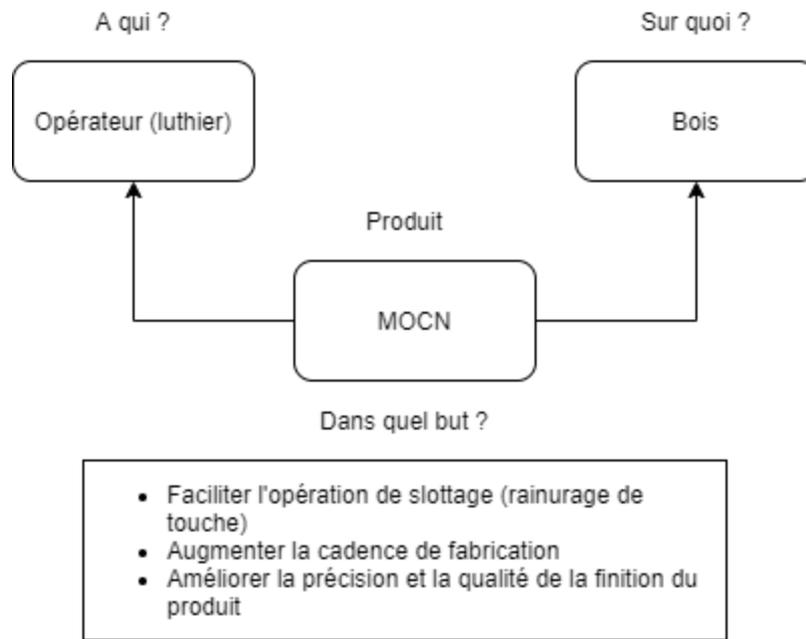
IV.1 Analyse fonctionnelle du besoin

Il s'agit d'effectuer l'étude des fraiseuses numériques et du langage de programmation CNC en vu d'effectuer un rainurage de touche de façon automatique.

À la suite de l'identification du besoin, nous optons pour le diagramme APTE afin d'exprimer clairement les limites du projet.

- À qui rend-il service ?
- Sur qui agit-il ?
- Dans quel but ?

On obtient ainsi le diagramme suivant :



IV.2 Validation du besoin

IV.2.1 Pourquoi le besoin existe-t-il ?

L'opération de rainurage des touches est une opération primordiale dans l'élaboration d'une guitare. Lors de cette opération, il est admis de dire que celle-ci requière énormément de précision. De ce fait, cette opération prend énormément de temps de concentration pouvant amener à l'erreur.

IV.2.2 Quelles sont les forces et les faiblesses de ce projet (Matrice SWOT) ?

	Positif	Négatif
Interne	Forces <ul style="list-style-type: none"> • La MOCN permettra d'éliminer l'étape de rainurage manuelle des touches. • Gain important de productivité lors de l'étape d'usinage. • Augmentation de la précision. • Géométrie de forme complexes sans réduire la productivité 	Faiblesses <ul style="list-style-type: none"> • Réglages de la précision nécessaire pour chaque nouveau type de manche. • Perte de compétence technique ou d'expertise sur le long terme. • Coût de la maintenance. • Inadapté aux petites séries.
	Externe	Opportunités <ul style="list-style-type: none"> • Main d'œuvre réduite. • Concurrence forte face aux autres constructeurs

	<ul style="list-style-type: none"> • Diversification des prestations. • Appels à projets 	<ul style="list-style-type: none"> • Formation et qualification de l'opérateur.
--	--	--

IV.3 Définition des ressources

IV.3.1 Les ressources techniques

Pour savoir si un projet est réalisable, il faut évidemment se convaincre que les objectifs de conception du produit sont raisonnables et techniquement réalisables compte tenu des ressources mis à disposition.

Quand on parle de ressources, il est question notamment des connaissances scientifiques et techniques essentielles afin de réaliser le projet. Voici donc brièvement en quoi consistent ces ressources.

Les connaissances scientifiques

- Les calculs des couples et puissances des moteurs électriques,
- Les efforts engendrés dans une opération de perçage,
- La modélisation par éléments finis des structures,
Etc. ;

On constate donc qu'en l'absence d'informations scientifiques et techniques pertinentes, un projet ne doit pas être entrepris surtout s'il est d'un niveau technique trop complexe pour les connaissances de l'équipe de projet.

IV.3.2 Les techniques

Les techniques représentent des solutions concrètes éprouvées pour résoudre divers problèmes d'ingénierie simples ou complexes. Voici quelques exemples de techniques pour notre projet :

- Technique de perçage d'acier,
- Le roulement à billes et guidage linéaire,
- La commande numérique,
- Système de transformation de mouvement (vis à bille, ...)
- Les moteurs électriques (pas à pas et servomoteurs) ;
Etc. ;

Tout projet de conception vise à intégrer plusieurs techniques. La nature de celles-ci dépend du projet. Les techniques sont fortement liées aux connaissances scientifiques discutées préalablement. Une recherche approfondie des techniques envisagées s'avère primordiale au début de tous projets de conception. Dans le cadre de cette recherche, on vise à identifier par-dessus tout quelles sont les techniques critiques qui risquent d'entraver la réussite du projet.

No	Éléments à vérifier
1.	Quelles sont les techniques ou connaissance qui sont susceptibles de faire partie du concept général du projet ?

	<i>Afin de répondre à cette question, il faut considérer toutes les possibilités en s'inspirant des projets différents ou proche de la finalité du projet. L'existant sur le marché ainsi que les idées préliminaires permettent de motiver le projet (innovations, opportunité de marché).</i>
2.	<p>Est-ce le projet possède suffisamment d'informations disponibles sur la technique afin de conduire convenablement le projet pour la mettre en œuvre (dimensionner, faire des calculs d'ingénierie, etc.) ?</p> <p><i>Pour cette question, une réponse claire et prise doit être donnée. Lorsqu'une zone d'ombre n'est pas mise en lumière afin d'y répondre, l'existence du projet est mise en péril.</i></p>
3.	<p>Quelles sont les difficultés et contraintes liées à chacune des techniques envisagées ?</p> <p><i>La liste peut être longue et démotivante pour mener à bien le projet. Parfois, les difficultés apparaîtront sans pour autant y trouver de réponse rapidement. Ne pas répondre à cette question engendre un jour ou l'autre d'importe remises en question sur les connaissances de l'équipe.</i></p>
4.	<p>Est-ce que des calculs préliminaires ont été réalisés pour valider les techniques critiques envisagées (ex. estimation de la puissance motrice requise ?)</p> <p><i>Documenter ces calculs et donner les références. Ils seront raffinés par la suite lors du dimensionnement des concepts. Il n'est évidemment pas nécessaire de faire des calculs préliminaires pour évaluer certaines techniques génériques au moment de l'étude préliminaire.</i></p>
5.	<p>Est-ce que certaines techniques sont inaccessibles pour diverses raisons (complexité, manque d'informations, manque de temps, coûts trop élevés, disponibilité restreinte, etc.) ?</p> <p><i>Dans ce cas, il faut écarter ces techniques dans le processus de conception ou encore évaluer les risques associés au choix de ces dernières. Pour chaque risque, il faut évaluer la valeur de ce dernier et trouver des mesures de prévention appropriées.</i></p>

IV.4 Les ressources financières

À ce stade du projet, il n'est pas aisé de se faire une idée précise des coûts qui seront engendrés par la réalisation du prototype.

Afin d'estimer l'ensemble des coûts du projet et de dresser un budget préliminaire,

Il est possible d'utiliser plusieurs approches séparément ou en combinaison pour estimer les coûts :

- Approche détaillée (Bottom-up)

De bas en haut :

Les coûts du projet sont associés à toutes les composantes importantes du produit séparément lorsqu'on peut les identifier et trouver les prix correspondants. A cette étape ci du projet, cette approche s'avère impossible.

- Approche globale (top-down)

Par expérience : On sait par expérience quels sont les prix associés pour mettre en œuvre une technique donnée, un concept préliminaire ou encore un ensemble de caractéristiques d'un produit (matériaux, pièces, méthodes de fabrication, etc.).

Par similarité : Il est possible d'estimer le prix d'un produit ou de ses composantes principales en le comparant avec un produit similaire existant sur le marché.

Nous rappelons que l'objectif de l'analyse économique à cette étape est de faire d'évaluer le coût des éléments critiques qui sont en règle générale associés aux spécifications et techniques vu préalablement.

Généralement, on constate que les aspects du projet constitueront la majeure partie du budget, du moins à l'étape de l'étude préliminaire.

En complétant l'analyse économique par une approximation globale des éléments communs du budget (boulons, structure, matériaux conventionnels, roulements, vis a billes etc.) par expérience ou similarité, on obtient finalement un budget préliminaire global qui servira à l'approbation du projet.

Voici donc une liste de vérification qui permet d'identifier les éléments à considérer pour le budget préliminaire :

NO	ÉLÉMENTS A VERIFIER
1.	<p>Quel est le coût des pièces (mécaniques, électriques, informatiques, etc.) dictées par les contraintes techniques associées aux spécifications et techniques critiques identifiées pour le projet ?</p> <p><i>Une étude préliminaire est nécessaire afin d'évaluer les pièces qui seront nécessairement intégrées à notre concept.</i></p>
2.	<p>Quel est le coût des matériaux spécialisés nécessaires pour la fabrication du prototype ?</p> <p><i>Il est suffisant de d'effectuer une estimation des coûts en matériaux du projet en vérifiant le prix des matières brutes auprès de divers fournisseurs.</i></p>
3.	<p>Est-ce que le salaire de professionnels ou de personnes spécialisées est à prévoir dans le budget ?</p> <p><i>Il est important d'indiquer le coût horaire des salariés, lorsque du temps est consacré à l'étude du projet.</i></p>
4.	<p>Est-ce que des outils spécialisés devront être achetés pour réaliser certaines pièces critiques ?</p>

<i>Le coût engendré par l'achat d'outils augmente inexorablement le coût total du projet.</i>

Il est important de d'indiquer que qu'on ne cherche pas nécessairement une évaluation de tous les coûts. Toutefois, il est important d'être en mesure de connaître et de fixer les marges budgétaires appropriées pour les aspects du projet pour lesquels il pourrait subsister des zones d'ombre.

Les facteurs de sécurité sont influencés naturellement par la complexité du projet et les incertitudes techniques qui en découlent.

En ce qui nous concerne une approche détaillée n'est pas utilisée dans cette étude, une somme préliminaire est tout de même fixée à 2000 €.

IV.5 Produits retenus

Pour des raisons budgétaires et de disponibilité de matériel et de contraintes de précision, une sélection de 2 CNC a été effectuées.

IV.5.1 CNC Entrée de gamme :

Alfawise C10 Pro CNC Laser GRBL Control DIY Engraving Machine Professional Modular High Integration 3 Axis Wood Router Engraver

Prix : Environ 150 €

Dimensions du plateau : 300 x 180 mm

Précision : 0,01 à 0,03 mm

Cette machine étant peu puissante, elle ne pourra pas travailler avec des matériaux très dur, et devra travailler doucement sur des matériaux comme des bois brutes. L'utilisation de cette CNC sera plus tournée vers de la gravure que de la découpe ou de la sculpture.

Ça taille réduite en fait une machine facile à entreposer, elle est simple d'utilisation et pourra répondre à des besoins spécifiques à petite échelle.

IV.5.2 CNC Plus haute gamme

Inventables X-CARVE® 1000mm

Prix : 1800 € (sans options)

Dimensions du plateau : 1000 x 1000 mm

Cette machine sera complètement personnalisable et permettra de s'adapter à l'utilisateur. La taille de la machine peut être augmentée avec des kits, la fraiseuse peut être changée pour un modèle plus puissant qui permettra de découper des matériaux plus dur et plus épais.

V. Conclusion

Dans la première partie, nous avons vu une représentation concrète de la CNC, afin de mieux cerner les performances attendues de la machine et de définir le projet d'une façon claire.

Par la suite, les fonctions de la machine ont été identifiées et ont permis de découvrir les langages de programmation ainsi que les contraintes spécifiques et lacunes du Gcode.

En deuxième partie, nous avons réalisé la phase de l'étude préliminaire. Celle-ci est probablement la plus critique des phases de développement d'un projet puisqu'elle permet d'établir la définition, les solutions préliminaires, les ressources nécessaires et les coûts total du développement d'un projet.

Cette phase de l'étude préliminaire permet d'effectuer un questionnement efficace pour minimiser les risques s'il y a lieu et d'établir les décisions qui permettront de mener bien le projet.

La phase de conception préliminaire a été amorcée et c'est donc à ce moment que l'on approfondira les calculs et la représentation mécanique concrète des CNC présenté ci-dessus.

VI. Annexes

Extrait du G-Code :

(T0 : 6.0)

G21 G90 G64 G40

G0 Z5.0

(T0 : 6.0)

T0 M6

(Contour1)

G17

M3 S13000

G0 X-14.9056 Y46.395

G0 Z1.0

G1 F300.0 Z-5.5

G2 F1000.0 X-15.8208 Y41.7753 I-12.047 J-0.0136

G2 X-20.2751 Y36.3514 I-11.2039 J4.66

G3 X-20.2762 Y36.3507 I1.6687 J-2.4931
G2 X-26.9815 Y34.3178 I-6.687 J9.9816
G3 X-26.9895 I-0.0046 J-3.0
G2 X-31.6092 Y35.2331 I-0.0136 J12.047
G2 X-37.0331 Y39.6874 I4.66 J11.2039
G3 X-37.0338 Y39.6884 I-2.4931 J-1.6687
G2 X-39.0667 Y46.3938 I9.9816 J6.687
G3 Y46.4018 I-3.0 J0.0046
G2 X-38.1514 Y51.0214 I12.047 J0.0136
G2 X-33.6971 Y56.4454 I11.2039 J-4.66
G3 X-33.6961 Y56.446 I-1.6687 J2.4931
G2 X-26.9907 Y58.4789 I6.687 J-9.9816
G3 X-26.9827 I0.0046 J3.0
G2 X-22.3631 Y57.5636 I0.0136 J-12.047
G2 X-16.9391 Y53.1094 I-4.66 J-11.2039
G3 X-16.9385 Y53.1083 I2.4931 J1.6687
G2 X-14.9056 Y46.403 I-9.9816 J-6.687
G3 Y46.395 I3.0 J-0.0046
G1 F300.0 Z-11.0
G2 F1000.0 X-15.8208 Y41.7753 I-12.047 J-0.0136
G2 X-20.2751 Y36.3514 I-11.2039 J4.66
G3 X-20.2762 Y36.3507 I1.6687 J-2.4931
G2 X-26.9815 Y34.3178 I-6.687 J9.9816
G3 X-26.9895 I-0.0046 J-3.0
G2 X-31.6092 Y35.2331 I-0.0136 J12.047
G2 X-37.0331 Y39.6874 I4.66 J11.2039
G3 X-37.0338 Y39.6884 I-2.4931 J-1.6687
G2 X-39.0667 Y46.3938 I9.9816 J6.687
G3 Y46.4018 I-3.0 J0.0046
G2 X-38.1514 Y51.0214 I12.047 J0.0136

G2 X-33.6971 Y56.4454 I11.2039 J-4.66
G3 X-33.6961 Y56.446 I-1.6687 J2.4931
G2 X-26.9907 Y58.4789 I6.687 J-9.9816
G3 X-26.9827 I0.0046 J3.0
G2 X-22.3631 Y57.5636 I0.0136 J-12.047
G2 X-16.9391 Y53.1094 I-4.66 J-11.2039
G3 X-16.9385 Y53.1083 I2.4931 J1.6687
G2 X-14.9056 Y46.403 I-9.9816 J-6.687
G3 Y46.395 I3.0 J-0.0046
G1 F300.0 Z-16.0
G2 F1000.0 X-15.8208 Y41.7753 I-12.047 J-0.0136
G2 X-20.2751 Y36.3514 I-11.2039 J4.66
G3 X-20.2762 Y36.3507 I1.6687 J-2.4931
G2 X-26.9815 Y34.3178 I-6.687 J9.9816
G3 X-26.9895 I-0.0046 J-3.0
G2 X-31.6092 Y35.2331 I-0.0136 J12.047
G2 X-37.0331 Y39.6874 I4.66 J11.2039
G3 X-37.0338 Y39.6884 I-2.4931 J-1.6687
G2 X-39.0667 Y46.3938 I9.9816 J6.687
G3 Y46.4018 I-3.0 J0.0046
G2 X-38.1514 Y51.0214 I12.047 J0.0136
G2 X-33.6971 Y56.4454 I11.2039 J-4.66
G3 X-33.6961 Y56.446 I-1.6687 J2.4931
G2 X-26.9907 Y58.4789 I6.687 J-9.9816
G3 X-26.9827 I0.0046 J3.0
G2 X-22.3631 Y57.5636 I0.0136 J-12.047
G2 X-16.9391 Y53.1094 I-4.66 J-11.2039
G3 X-16.9385 Y53.1083 I2.4931 J1.6687
G2 X-14.9056 Y46.403 I-9.9816 J-6.687
G3 Y46.395 I3.0 J-0.0046

G0 Z5.0

G0 X-25.4139 Y-34.4181

G0 Z1.0

G1 F300.0 Z-5.5

G2 F1000.0 X-20.2762 Y-36.3507 I-1.5492 J-11.9142

G3 X-20.2751 Y-36.3514 I1.6697 J2.4924

G2 X-15.8208 Y-41.7753 I-6.7496 J-10.084

G2 X-14.9056 Y-46.395 I-11.1318 J-4.606

G3 Y-46.403 I3.0 J-0.0034