

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la recherche scientifique

UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction mécanique

Par :

GUIRA Billal

REDOUANE Zineddine

Thème

Etude d'un découpeur plasma CNC à trois (03) axes

Soutenu le 11/10/2020 devant le jury composé de :

Melle. HIMED

Président

Mr. HADDAR

Rapporteur

Mr. HADJOU

Examineur

Année Universitaire 2019-2020

Sommaire

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Sommaire	iii
Table des figures.....	vii
Liste des tableaux	ix
NOMENCLATURE	x
Introduction Générale.....	1
I. Généralités sur les machines à commande numérique	3
I.1. Introduction.....	3
I.2. Historique.....	3
I.3. Définition d'une machine à commande numérique	4
I.4. Structure d'une machine à commande numérique.....	5
I.4.1 Partie Commande	5
I.4.2 Partie Opérative	6
I.5. Principe de fonctionnement d'une MOCN	6
I.5.1 Le système électronique	6
I.5.2 Le système mécanique.....	7
I.5.3 Le système de programmation.....	7
I.6. Avantages et inconvénients des MOCN	7
I.7. Classification des MOCN	8
I.7.1 Classification selon la nature de déplacement.....	8
I.7.2 Classification selon le nombre d'axes	8
I.8. L'usinage à trois axes et l'usinage à cinq axes	10
I.9. Généralités sur les moteurs pas à pas.....	11
I.9.1 Les différents types de moteur pas à pas	12
a. Les moteurs à aimants permanents	12
i. Les moteurs unipolaires	13
ii. Les moteurs bipolaires	13
iii. Caractéristiques principales du moteur à aimants permanents	14
b. Les moteurs à réluctance variable.....	14
i. Caractéristiques principales du moteur à réluctance variable	14
c. Moteur hybride	15
ii. Caractéristiques principales du moteur hybride.....	16
I.9.2 Comparaison des trois catégories de moteurs pas à pas	16

I.10. Conclusion	17
II. Présentation du projet	18
II.1. Introduction	18
II.2. Le découpeur CNC à trois (03) axes	18
II.2.1 Définition.....	18
II.2.2 Présentation du Projet.....	19
II.2.3 Contexte du projet	20
II.2.4 Les caractéristiques de la machine	21
II.3. La structure mécanique.....	22
II.3.1 Le châssis.....	22
II.3.2 Les axes de déplacement	22
a. Le système pignon crémaillère	23
b. La vis à bille.....	23
c. Les rails de guidage	24
II.3.3 L'assemblage de la structure mécanique	25
II.4. La partie électrique	26
II.4.1 Les moteurs pas à pas	26
II.4.2 Les capteurs de fin de course.....	26
II.4.3 Les connecteurs	27
II.4.4 Le raccordement et l'alimentation.....	27
II.5. L'outil de coupe.....	27
II.5.1 La découpe plasma	28
a. Le poste plasma	28
b. La Torche plasma	29
II.5.2 L'évacuation des fumées	29
II.6. Le système de commande.....	29
II.6.1 La carte interface	29
II.6.2 Les drivers (pilotage des moteurs pas à pas)	30
II.6.3 Logiciels informatiques	30
a. Le logiciel de contrôle Mach3	30
b. Que peut faire Mach3	31
c. Modes opératoires de Mach3	32
i. Mode manuel (Jogging)	32
ii. Mode MDI.....	32
iii. Mode automatique.....	33
d. Le port parallèle du PC	33
e. Le G-Code	34
i. Présentation.....	34
ii. Les principales fonctions du G-code.....	34
II.7. Conclusion.....	35
III. Dimensionnement	36
III.1. Introduction	36
III.2. Choix du poste plasma	36
III.3. Etude de l'axe Z	37
III.3.1. Calcul du couple moteur.....	37
III.3.2. Puissance motrice nécessaire.....	39
III.3.3. Choix de la vis à billes.....	39
a. Vérification de la charge maximale admissible.....	41
b. Vérification de la vitesse de rotation admissible	42

c. Vérification pour le flambage	42
III.3.4. Choix des patins de guidage	43
III.4. Etude de l'axe Y	43
III.4.1. Calcul du couple moteur pour un système pignon crémaillère	43
a. Calcul de la résistance de la dent :	44
i. Méthode RDM	44
b. Puissance motrice nécessaire	47
III.4.2. Choix des rails de guidage.....	48
III.5. Etude de l'axe X	48
III.5.1. Calcul du couple moteur pour un système pignon-Crémaillère	48
a. Calcul de la résistance de la dent	49
b. Puissance motrice nécessaire	51
III.5.2. Choix des rails de guidage.....	52
III.6. Le châssis.....	52
III.7. Conclusion.....	53
IV. Electronique de la CNC	55
IV.1. Introduction	55
IV.2. Driver de moteurs pas-à-pas DM860	55
IV.2.1. Définition.....	55
IV.2.2. Applications.....	56
IV.2.3. Spécifications électriques	56
IV.3. Choix de l'alimentation.....	57
IV.3.1. Alimentation régulée ou non-régulée	57
IV.3.2. Choix de la tension d'alimentation	57
IV.3.3. Le boîtier d'alimentation	57
IV.4. La carte interface.....	59
IV.5. Raccordement des composants.....	60
IV.6. Conclusion.....	61
Conclusion Générale	62
Références Bibliographiques.....	63
ANNEXES.....	10
Fiches techniques des moteurs (NEMA 17, NEMA 34 et NEMA 42)	65
Résumé	67
Abstract	67
Résumé	68
Abstract	68
DESSINS DE DEFINITION	69
DESSINS de définition.....	70

Table des figures

Figure I-1 : Machine CNC à trois axes (CNC Router).....	4
Figure I-2 : Analyse fonctionnelle de la MOCN.....	5
Figure I-3 : Structure d'une MOCN.....	5
Figure I-4 : Machine à 5 axes.....	11
Figure I-5 : Moteur pas à pas.....	12
Figure I-6 : Schéma simplifié d'un moteur à aimant permanent.....	12
Figure I-7 : Représentation schématique d'un moteur unipolaire.....	13
Figure I-8 : Représentation schématique d'un moteur bipolaire.....	13
Figure I-9 : Schémas simplifié d'un moteur à reluctance variable.....	14
Figure I-10 : Moteur hybride.....	15
Figure II-1 : Schémas des constituants de la machine.....	19
Figure II-2 : Actigramme de la machine.....	19
Figure II-3 : Diagramme bête à cornes de la machine.....	20
Figure II-4 : Pignon et crémaillère.....	23
Figure II-5 : Vis à billes.....	24
Figure II-6 : Rail de guidage avec chariot.....	25
Figure II-7 : Capteur de fin de course.....	26
Figure II-8 : Connecteurs.....	27
Figure II-9 : Carte interface.....	30
Figure II-10 : Driver.....	30
Figure II-11 : Interface principale du logiciel Mach 3.....	31
Figure II-12 : Interface de commande manuelle Mach 3.....	32
Figure II-13 : Capture de MDI.....	33
Figure II-14 : Représentation schématique d'un port parallèle.....	33
Figure III-1 : Poste Plasma GYS 125 A TRI.....	37
Figure III-2 : Caractéristiques du moteur de l'axe Z (1).....	38
Figure III-3 : Caractéristiques du moteur de l'axe Z (2).....	38
Figure III-4 : Caractéristiques du moteur de l'axe Z (3).....	39

Figure III-5 : Croquis du montage de la vis à billes [15]	40
Figure III-6 : Vue de face de la vis [15]	40
Figure III-7 : Vue de face de l'écrou [15]	41
Figure III-8 : Eléments caractérisant la dent du pignon	45
Figure III-9 : Caractéristiques du moteur de l'axe Y (1).....	46
Figure III-10 : Caractéristiques du moteur de l'axe Y (2).....	47
Figure III-11 : Caractéristiques du moteur de l'axe Y (3).....	47
Figure III-12 : Caractéristiques du moteur de l'axe X (1).....	50
Figure III-13 : Caractéristiques du moteur de l'axe X (2).....	50
Figure III-14 : Caractéristiques du moteur de l'axe X (3).....	51
Figure IV-1 : Driver DM860.....	56
Figure IV-2 : Boitier d'alimentation	58
Figure IV-3 : Vue de dessus du boitier	58
Figure IV-4 : Vue de face du boitier	59
Figure IV-5 : Carte interface InterpCNC	59
Figure IV-6 : Schémas de raccordement (Driver - moteur – alimentation- arrêt d'urgence)...	60
Figure IV-7 : Schémas de raccordement des capteurs	61

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Classification des MOCN selon les axes	9
Tableau I-2 : Caractéristiques des différents types de moteurs pas à pas	16
Tableau II-1 : les différents composants du découpeur.....	21
Tableau II-2 : les principales fonctions du G-Code	34
Tableau III-1 : Paramètres de la vis [15].....	41
Tableau III-2 : Paramètres de l'écrou [15]	41
Tableau III-3 : Paramètres du rail (Axe Z) [18]	43
Tableau III-4 : Paramètres du chariot (Axe Z) [18]	43
Tableau III-5 : Rail de l'axe Y [18]	48
Tableau III-6 : Chariot de l'axe Y [18]	48
Tableau III-7 : Rail de l'axe X [18]	52
Tableau III-8 : Chariot de l'axe X [18]	52
Tableau III-9 : Propriétés de l'acier E335	53
Tableau IV-1 : Spécifications électriques du driver à 25°C.....	56
Tableau IV-2 : Fiche technique du boîtier.....	58
Tableau IV-3 : Fiche technique de la carte interface.....	60

NOMENCLATURE

Symboles	Définition	Unité (SI)
a	: Facteur caractérisant le montage	-
C	: Couple moteur	N.m
C_{dyn}	: Charge dynamique	N
C_{stat}	: Charge statique	N
D_0	: Diamètre du fond du filet	mm
F_{adm}	: Force admissible	KN
F_{max}	: Force maximale	N
F_s	: Coefficient de service	-
H	: Hauteur complète	mm
H_r	: Hauteur des rails	mm
I_a	: Moment quadratique	N.m
L	: Distance entre les centres des paliers de la vis	mm
m	: Module	mm
M_{fmax}	: Moment fléchissant	N.m
M_{max}	: Masse maximal	Kg
n	: Vitesse de rotation	Tr/min
P	: Pas de la vis	mm
P_a	: Puissance moteur	kW
R	: Rayon du pignon	mm
S	: Coefficient de sécurité	-
V	: Vitesse d'avance	mm/s
W	: Largeur du chariot	mm
W_r	: Largeur des rails	mm
Z	: Nombre de dents	-

Symboles grecs

ω	: Vitesse angulaire	Rad/s
ρ	: Masse volumique	Kg/m ³
η	: Rendement	-
σ	: Contrainte	MPa

Abréviations

2D	: Deux dimensions
3D	: Trois dimensions
CAO	: Conception Assistée par Ordinateur
CNC	: Computer numerical Control
DCN	: Directeur de Commande Numérique
DSP	: Digital Signal Processor
FAO	: Fabrication Assistée par Ordinateur
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
MOCN	: Machine-Outil à Commande Numérique
NEMA	: National Electrical Manufactures Association
PC	: Partie commande
PO	: Partie Opérative
THC	: Torch Control Security
USB	: Universal Serial Bus

Introduction Générale

Introduction Générale

Le monde de l'industrie connaît, depuis plusieurs années, des progrès énormes en matière d'outils, d'innovations et d'inventions. En effet, les marchés mondiaux ne cessent de s'élargir afin de pouvoir satisfaire la demande du client d'une part, et pour s'adapter aux nouveaux défis mondiaux d'une seconde part.

En particulier les ingénieurs mécaniciens sont contraints, aujourd'hui, de relever ces défis et de présenter des solutions pratiques aux problèmes complexes rencontrés chaque jour. Santé, travaux publics, chantiers, industrie pétrolière, éducation et plusieurs autres domaines sont liés d'une façon ou d'une autre à la mécanique. Un constat qui pousse, sans doute, l'ingénieur mécanicien d'aujourd'hui à être polyvalent, et à aller toujours dans le sens d'apprentissage et d'exploration.

La production mécanique par usinage classique ne satisfait nullement les besoins du marché actuel. La production des pièces par des fraiseuses, tours et autres machines conventionnelles est parfois trop lente et pas autant précise. L'automatisation des machines dites conventionnelles a considérablement contribué à augmenter les taux de production tout en améliorant les états des surfaces de ces pièces avec des ordres de précisions très prometteurs. Les machines conventionnelles sont désormais remplacées par des machines dites à commande numériques ; très pratiques, plus rapides et plus précises.

Cependant, en Algérie, les progrès scientifiques et techniques restent insuffisants au point où la quasi-totalité des exportations est issue des produits hydrocarbures sans autres alternatives. Bien que quelques investissements commencent à voir le jour, cela reste toutefois insuffisant si nous voulons un jour rivaliser avec d'autres pays leaders de technologie.

Le secteur de productions des machines à commandes numériques est très pauvre à l'heure actuelle et la grande partie des CNC est importée des pays étrangers à des prix très élevés.

Nous allons tenter donc, à travers notre travail, d'apporter une contribution au domaine de la réalisation des machines à commande numérique en présentant le sujet sous quatre chapitres :

- Le premier chapitre sera dédié aux généralités sur les commandes numériques et les moteurs pas à pas qui constituent un élément très important dans l'élaboration du travail. Vers la fin de ce chapitre, le lecteur sera en mesure de se situer dans le contexte de la thématique et d'avoir une idée sur ce que c'est qu'une machine à commande numérique en général, et une CNC en particulier.
- Le second chapitre est réservé à la présentation de notre projet. C'est-à-dire ce que nous voulons construire, pourquoi et comment.
- Une fois le projet présenté nous entamerons dans le troisième chapitre les calculs des éléments de notre CNC.
- Le quatrième chapitre est, quant à lui, dédié à la partie électronique de notre machine. Nous tenterons d'expliquer dans ce chapitre comment relier ses composants électroniques.

Nous concluons ainsi ce manuscrit par une conclusion générale, des perspectives et nous fournissons les plans de conception que nous avons élaboré.

Chapitre I

Généralités sur les machines à commande numérique

I. Généralités sur les machines à commande numérique

I.1. Introduction

Une machine-outil à contrôle numérique, ou machine CNC (Computer Numerical Control) fonctionne en déplaçant un outil de coupe selon un ou plusieurs axes. Elle permet ainsi, avec un fonctionnement comparable à celui d'une imprimante 3D, d'usiner n'importe quelle pièce sauf que dans ce cas la matière est enlevée alors qu'avec l'imprimante 3D elle est ajoutée.

Ces machines permettent notamment faire la gravure et le perçage de circuits imprimés, la réalisation de petites pièces mécaniques, le traçage et le découpage de pièces pour modèles réduits.

Elle pourra être pilotée par divers logiciels open source à partir d'un ordinateur sous Linux ou Windows. Ces logiciels permettent d'envoyer les commandes de déplacement de l'outil de coupe à partir d'un fichier graphique généré par un logiciel de dessin. [1].

I.2. Historique

C'était en 1947, lorsque la commande numérique est née. Tout a commencé lorsque John C. Parsons de la Parsons Corporation, Traverse City, Michigan, un fabricant de pales de rotor d'hélicoptère, ne pouvait pas faire ses modèles assez vite. Donc, il a inventé une façon de coupler l'équipement informatique avec la machine de fabrication usuelle.

1949 a été l'année d'un autre « besoin urgent ». Le commandement américain Air Matériel s'est rendu compte que ses pièces pour avions et missiles ont été de plus en plus complexe. En outre, comme les dessins ont été constamment améliorés, les changements dans le dessin ont souvent été faites.

Ainsi, dans leur recherche de méthodes de production plus rapide, un contrat d'étude de la Force aérienne a été attribué à la Parsons Corporation. Le laboratoire des mécanismes d'asservissement de l'Institut de Technologie du Massachusetts (MIT) était le sous-traitant.

En 1951, le MIT a repris le travail complet, et en 1952, le prototype de la machine NC. Une machine Cincinnati Hydrotel Milling modifiée, a été réalisée avec succès. Le terme commande numérique a vu le jour donc au MIT. Initialement, la technologie CNC a été appliquée sur les tours, fraiseuses, etc. qui pourraient effectuer un seul type d'opération de découpe de métal. Plus tard, on a tenté de traiter une variété de pièces qui peuvent nécessiter plusieurs types et différentes opérations d'usinage en même temps. Ainsi les centres d'usinage CNC capables d'exécuter plusieurs opérations ont été développés. Pour commencer, les centres d'usinage CNC ont été développés pour les composants prismatiques en combinant des opérations comme fraisage, perçage, alésage et taraudage. Peu à peu, les machines pour la fabrication de composants cylindriques, appelés centres de tournage ont été développés.

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

Une machine à commande numérique est une machine, totalement ou partiellement automatique. Dans une MOCN les ordres sont, contrairement aux machines conventionnelles, transmis sous forme d'un programme à l'aide d'un support externe.

Lorsqu'une machine à outil est équipée d'une commande numérique ayant la capacité d'effectuer le calcul de coordonnées des points définissant la trajectoire de l'outil, on parle d'une CNC.



Figure I-1 : Machine CNC à trois axes (CNC Router)

I.4. Structure d'une machine à commande numérique

Une MOCN est un système automatisé. Elle comporte deux parties essentielles à savoir :

- La partie commande (PC) : directeur de commande numérique (DCN)
- La partie opérative (PO) : elle comporte la structure de la machine-outil, l'outil, le porte outil et le porte pièce ; la matière d'œuvre est la pièce en elle-même.

Ci-joint une analyse fonctionnelle d'une MOCN :

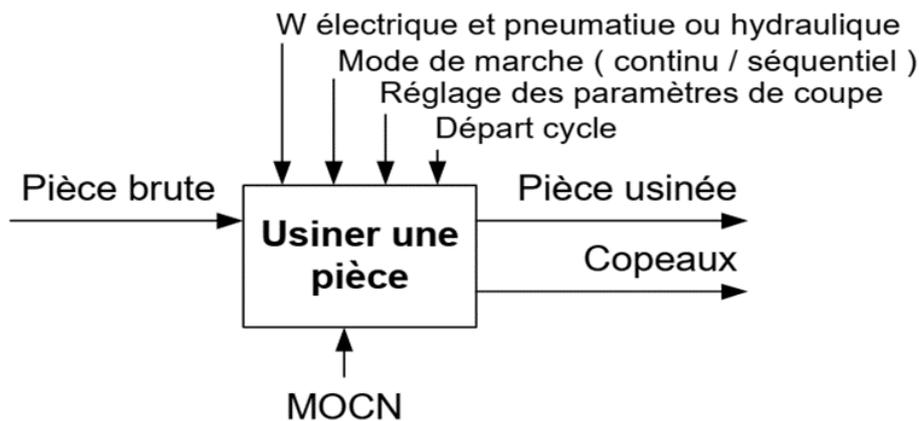


Figure I-2 : Analyse fonctionnelle de la MOCN

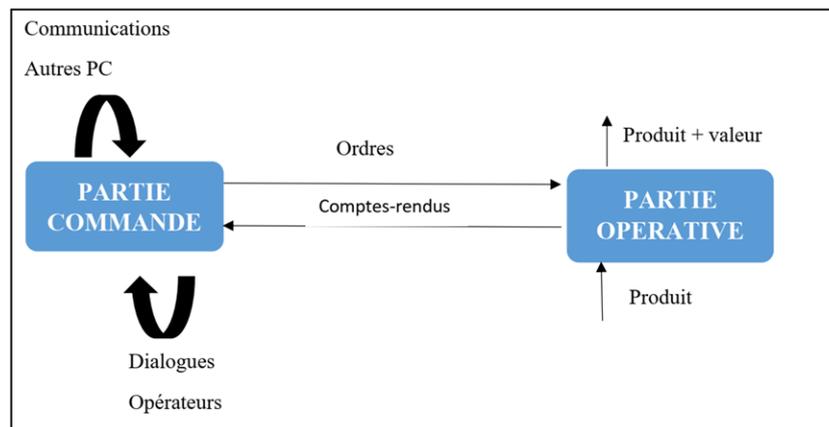


Figure I-3 : Structure d'une MOCN

I.4.1 Partie Commande

Dans la partie commande, on trouve une armoire contenant à la fois les composants cités ci-dessous :

- Un écran de visualisation pour visualiser les entrées.
- Le lecteur de données.
- Le calculateur.
- Les cartes électroniques et les mémoires.
- Le clavier qui sert à faire rentrer la commande.

- Des sorties pour effectuer les différentes liaisons avec les périphériques externes.

I.4.2 Partie Opérative

La partie opérative est la partie responsable d'exécuter les tâches reçues par la partie commande. Elle comporte généralement :

- Des moteurs pas à pas pour assurer le déplacement de l'outil.
- Des capteurs de positionnement pour identifier à chaque instant la position de l'outil.
- Un socle qui sert à mettre la machine à une certaine hauteur par rapport au sol.
- Un support outil.

Une table support pièce qui soit mobile selon le nombre d'axes choisis préalablement.

I.5. Principe de fonctionnement d'une MOCN

Les machines-outils à commande numérique agissent selon des programmes et logiciels prédéfinis qui donnent des instructions pour effectuer avec précision les mouvements des axes, les vitesses de broche et les changements d'outils. La machine à commande numérique permet des mouvements simultanés sur un ou plusieurs axes, créant ainsi un produit 2D ou 3D. De plus, les performances des machines à commande numérique entraînent une augmentation de la productivité et une qualité constante lorsque plusieurs pièces sont travaillées avec le même programme et le même outillage. [3]

Ce système peut être divisé en trois parties. Le système mécanique qui reçoit des signaux de commande nécessaire du système électronique qui aboutit finalement à l'actionnement souhaité des moteurs. Le système électronique obtient une commande ou un ensemble de commandes du système logiciel et génère des commandes pour le système mécanique.

I.5.1 Le système électronique

Le système électronique est responsable de la génération du signal de commande pour les moteurs qui guident le mouvement de la trajectoire de l'outil dans chaque direction ou axe. Le système électronique est composé de :

- L'alimentation.
- La carte contrôle.
- Les driver des moteurs pas à pas.

I.5.2 Le système mécanique

Le système mécanique est assemblé de telle manière à ce que le mouvement des 3 axes soit réalisé en utilisant des rails linéaires assemblés avec des patins de guidage. Les moteurs sont montés chacun sur un axe qui est source de mouvement et agissent en fonction du signal de commande généré à partir du circuit électronique.

Chaque moteur est relié à un système de transmission de mouvement dans chaque axe. Celui-ci est chargé de transformer le mouvement du moteur de rotation en mouvement linéaire.

Le mouvement contrôlé de chaque axe est obtenu directement par la commande de la rotation du moteur. La vitesse du mouvement de chaque axe peut également être contrôlée par le contrôle direct de la vitesse du moteur, en donnant des signaux de commande nécessaires.

Ainsi, la trajectoire de l'outil fixée à l'organe terminal est contrôlée dans chaque axe pour une action sur la pièce à usiner.

Pour éviter que les axes sortent de la plage de fonctionnement, on utilise des capteurs de fin de course pour chaque axe. Une commande manuelle de bouton d'arrêt d'urgence peut également être utilisée pour la machine.

I.5.3 Le système de programmation

La pièce à usiner sera conçue par un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). Cette conception est ensuite introduite dans un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO) afin de traduire le dessin en question en lignes de code (programme informatique). Ce code doit être lisible ou compatible avec le logiciel qui permet la mise en action de la machine.

I.6. Avantages et inconvénients des MOCN

Une réduction substantielle du nombre d'outillage, l'usinage de pièces complexes ne nécessite pas d'outillage complexe. Pour modifier la forme et la taille des pièces, il suffit de modifier les procédures de traitement des pièces pour le développement et la modification de nouveaux produits.

Qualité de traitement stable, haute précision, précision de répétition élevée, adaptation aux exigences de traitement des pièces mécaniques.

La production multi-espèces et en petits lots avec une efficacité de production supérieure, réduit la préparation de la production, le réglage de la machine et le temps d'inspection du processus, et grâce à l'utilisation de la meilleure coupe et réduit le temps de coupe.

Les méthodes conventionnelles usinables sont difficiles à traiter des profils complexes et peuvent même traiter des sites de traitement non observables.

L'inconvénient majeur de ces machines réside, cependant, dans leur coût élevé, et dans l'accessibilité et la maîtrise des logiciels de programmation. Une personne travaillant sur une CNC doit maîtriser la programmation, la CAO ainsi que la FAO.

I.7. Classification des MOCN

On peut classer les MOCN selon deux axes principaux, à savoir :

- La nature de déplacement.
- Le nombre d'axes.

I.7.1 Classification selon la nature de déplacement

A l'époque, les machines étaient classées selon les formes des surfaces à réaliser (entre surfaces cylindriques/ prismatiques, tournage/ fraisage), mais cette classification a ensuite été remise en cause après l'introduction de la commande numérique, car cette dernière et l'adaptation des structures des machines cassent le lien entre les deux couples.

I.7.2 Classification selon le nombre d'axes

On classe maintenant les machines-outils par le nombre de mouvements élémentaires qu'elles peuvent mettre en œuvre lors du déplacement de l'outil par rapport à la pièce. Seuls les axes sont décomptés. La mise en œuvre simultanée de plusieurs outils entraîne l'augmentation du nombre d'axes. Cette classification ne permet pas d'associer directement un type de forme usinable à une classe de machine, car elle ne reflète pas la cinématique de l'outil. Par exemple un tour à cinq axes ne permet pas de faire des pièces différentes par rapport à un tour à trois axes.

Tableau I-1 : Classification des MOCN selon les axes

Nombre d'axes	Mouvement	Type d'usinage/ opérations possibles
1	Z	Brochage, presse
2	X, Z	Tournage : même axes de symétrie pour toutes les formes obtenues
3	X, Y, Z	Fraisage : surfacage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste parallèle à une direction fixe par rapport à la pièce.
3	X, Z, C	Tournage, avec asservissement de la broche, permet le fraisage sur tour : tournage général, fraisage à l'outil tournant, perçage hors axe. La broche est asservie en position.
4	X, Y, Z, B	Fraisage : surfacage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste contenu dans un plan fixe par rapport à la pièce.
4	X, Y, Z, C	Fraisage : surfacage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste contenu dans un plan fixe par rapport à la pièce.
4	X, Y, Z, C	Tournage.
4	2 (X, Z)	Tournage à deux tourelles
5	2 (X, Z), C	Tournage à deux tourelles et asservissement de la broche
5	X, Y, Z, A, C	Fraisage de formes gauches : fraisage avec le flanc de l'outil, fraisage avec dépinçage, perçage en toutes directions.
5	X, Y, Z, B, C	Fraisage de formes gauches : fraisage avec le flanc de l'outil, fraisage avec dépinçage, perçage en toutes directions.
5	X, Y, Z, A, B	Fraisage de formes gauches : fraisage avec le flanc de l'outil, fraisage avec dépinçage, perçage en toutes directions.

De plus en plus, la broche se comporte comme un axe asservi. C'est le cas en tournage, où l'on peut être obligé de mettre en place une seconde motorisation lorsqu'elle génère un mouvement d'avance (tournage avec outil tournant). En fraisage, la broche est plutôt un demi axe, car on cherche à asservir sa vitesse de rotation à la vitesse d'avance de l'outil pour assurer, par exemple, des interpolations hélicoïdales (taroudage) ou de façon à garantir l'avance par dent de l'outil.

Les machines à 5 axes du type (X, Y, Z, A, C) sont privilégiées dans le cadre de l'usinage de pièces de dimensions importantes, bien qu'elles perdent en rigidité au niveau de la tête de la machine.

Cependant, d'autres classifications existent, on cite à titre d'exemple :

- Le système d'entrée d'informations.
- Le mode de fonctionnement du système de mesures
- Le mode de fonctionnement de la machine (fonctionnement en boucle ouverte, fonctionnement en boucle fermée, fonctionnement avec commande adaptative).

I.8. L'usinage à trois axes et l'usinage à cinq axes

L'usinage 3 axes est l'une des techniques les plus employées dans la fabrication de pièces mécaniques, mais aussi, depuis plusieurs décennies, dans plusieurs autres domaines comme l'architecture, le design et l'art. Relativement simple dans son exécution, elle fait recours à des machines-outils classiques comme la fraiseuse qui permettent un travail de la matière sur 3 axes (X, Y et Z). La machine-outil procède alors à l'enlèvement des copeaux suivant trois directions de base correspondant aux axes d'une surface plane. Tout à fait adaptée aux pièces peu profondes, cette technique basée sur l'utilisation d'outils longs présente cependant de grosses limites quand il s'agit de traiter une pièce profonde avec des cavités étroites. Le travail peut alors devenir très laborieux, avec une finition souvent peu aboutie.

Avec l'expression des nouveaux besoins et le développement de nouvelles technologies de fabrication assistée par ordinateur (FAO), ont donc été développées de nouvelles technologies d'usinage avec 3 +1 axes, 3 +2 axes, puis 5 axes.

L'usinage à 5 axes fait recours à un outil qui se déplace dans cinq différentes directions correspondant aux 3 axes linéaires X, Y et Z, auxquels s'ajoutent deux axes, A et B, autour duquel tourne l'outil. Un tel parcours permet d'approcher la pièce dans toutes les directions et de la traiter sur cinq côtés, en une seule opération.

Contrairement à l'usinage 3 axes, cette technique est parfaitement adaptée aux pièces profondes et aux matériaux durs avec lesquels elle garantit un niveau de précision élevé grâce à

l'utilisation d'outils d'usinage plus courts. La vitesse d'usinage est également plus grande, tandis que les vibrations d'outils sont réduites.

Par ailleurs, alors que l'usinage 3 axes autorise des opérations plus simples pour les dispositifs, l'usinage 5 axes nécessite de plus longs préparatifs mais moins de manipulation de la matière.

Les dernières années ont vu le développement de nombreux matériels et logiciels qui permettent de prendre le contrôle total des machines-outils utilisées pour l'usinage 5 axes. Basées sur l'informatique, ces commandes numériques rendent possible le traitement efficace d'une multitude de matières et de surfaces courbes avec une grande précision. Ce mode de fabrication assistée par ordinateur (FAO) permet également une programmation et une automatisation partielle ou totale de la procédure. En plus de la grande qualité et de la précision des produits, cette technologie présente également de nombreux avantages : une plus grande vitesse d'usinage, de meilleurs rendements, des pièces de très grandes dimensions, etc. [4]



Figure I-4 : Machine à 5 axes

I.9. Généralités sur les moteurs pas à pas

Le moteur pas à pas est un convertisseur électromécanique qui assure la transformation d'un signal électrique impulsionnel en un déplacement mécanique (angulaire ou linéaire). Sa structure de base se présente sous la forme de deux pièces séparées mécaniquement, le Stator et le Rotor. L'interaction électromagnétique entre ces deux parties assure la rotation. [5]



Figure I-5 : Moteur pas à pas

I.9.1 Les différents types de moteur pas à pas

Les moteurs pas à pas sont très utilisés dans toutes les applications mécaniques où l'on doit contrôler simplement la position ou la vitesse d'un système en boucle ouverte. Ces moteurs sont par exemple utilisés entre autres dans les découpeurs plasma, pour positionner les têtes d'impression ou pour l'avancée du papier.

a. Les moteurs à aimants permanents

Ils sont constitués d'un stator supportant les bobinages et d'un rotor magnétique (aimant bipolaire).

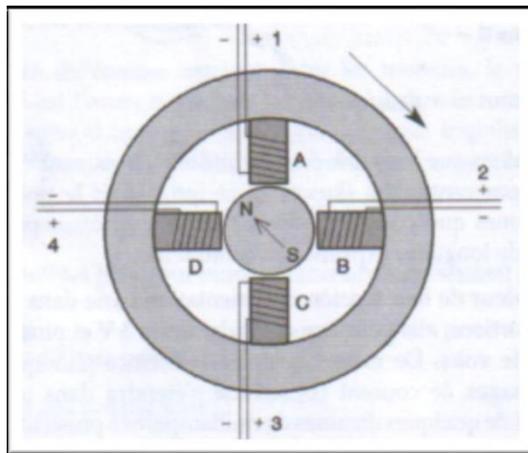


Figure I-6 : Schéma simplifié d'un moteur à aimant permanent

Cette catégorie de moteurs se subdivise en deux types : le moteur unipolaire et le moteur bipolaire.

i. Les moteurs unipolaires

Une représentation schématisée d'un moteur unipolaire est donnée en Figure 6. Afin d'inverser le sens du courant, les enroulements sont réalisés au moyen de deux fils dont l'une des extrémités est reliée au + ou au - de l'alimentation. La commande de ce type de moteur est la plus simple de tous les moteurs pas-à-pas puisqu'il suffira d'alimenter les bobinages à tour de rôle pour faire tourner l'axe d'un pas.

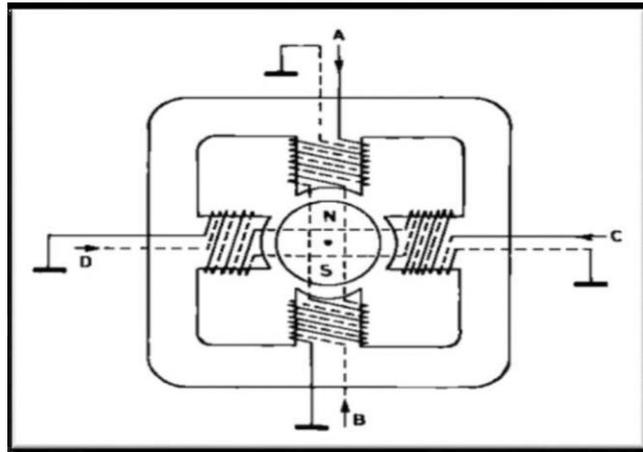


Figure I-7 : Représentation schématisée d'un moteur unipolaire

ii. Les moteurs bipolaires

La Figure 8 représente la constitution interne d'un moteur de type bipolaire. Ce type de moteur nécessite une commande plus complexe que celle du moteur unipolaire, le courant devant changer de sens dans les enroulements à chaque pas effectué.

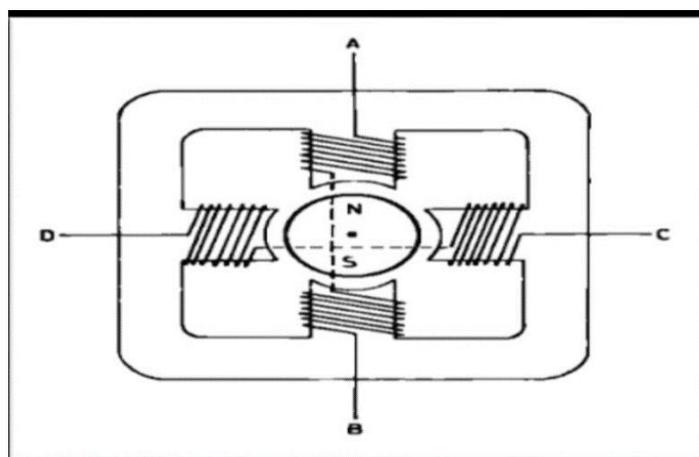


Figure I-8 : Représentation schématisée d'un moteur bipolaire

iii. Caractéristiques principales du moteur à aimants permanents

- Un couple développé assez important.
- De faible inertie pour des couples importants.
- Le sens de rotation dépend de l'ordre d'alimentation.
- Nombre de pas réduit dû à la difficulté de loger les aimants.
- Fréquence de travail faible.

b. Les moteurs à réluctance variable

Les moteurs à réluctance variable fonctionnent selon un principe différent de celui des moteurs à aimants permanents. Ils possèdent bien évidemment un stator et un rotor, mais ce dernier est fabriqué en acier doux non magnétique. Il n'est pas lisse et possède plusieurs dents. Ce type de moteur est représenté en Figure 9. On peut voir, dans cet exemple, que le stator est composé de 8 plots sur lesquels sont enroulés les bobinages, ce qui donne 4 phases. Le rotor, quant à lui, ne comporte que 6 dents. [6]

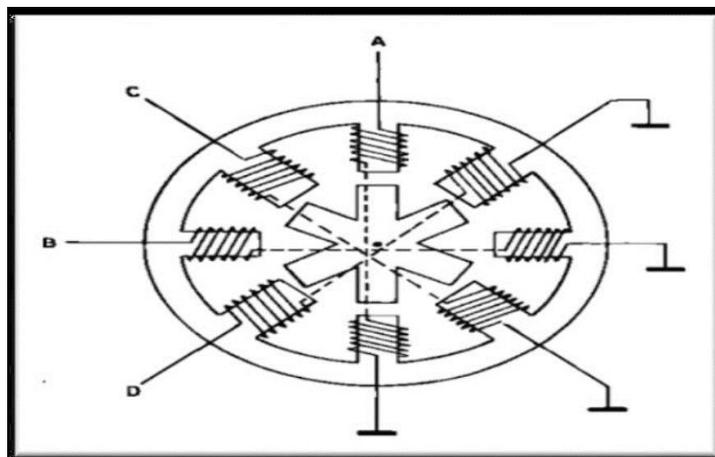


Figure I-9 : Schémas simplifié d'un moteur à réluctance variable

i. Caractéristiques principales du moteur à réluctance variable

Les principales caractéristiques associées à la structure et au fonctionnement du moteur à réluctance variable sont :

- Une bonne précision du positionnement.

- Un couple développé assez faible.
- De faibles inerties pour des couples important.
- Des valeurs d'inductance très élevées.
- Nombre de pas important.
- Le sens de rotation dépend de l'ordre d'alimentation des bobines.
- Rendement faible.
- Fonctionne à des fréquences élevées.

c. Moteur hybride

Ce sont des moteurs à réluctance variable dont le rotor est aimanté. Le rotor est constitué de deux disques dentés décalés mécaniquement. Entre ces deux disques, est inséré un aimant permanent.

Le nombre de dents au rotor est différent de celui du stator, quand on alimente une paire de bobines, le rotor place les dents Nord et Sud de telle façon que le flux traversant, le rotor soit maximal. [7]

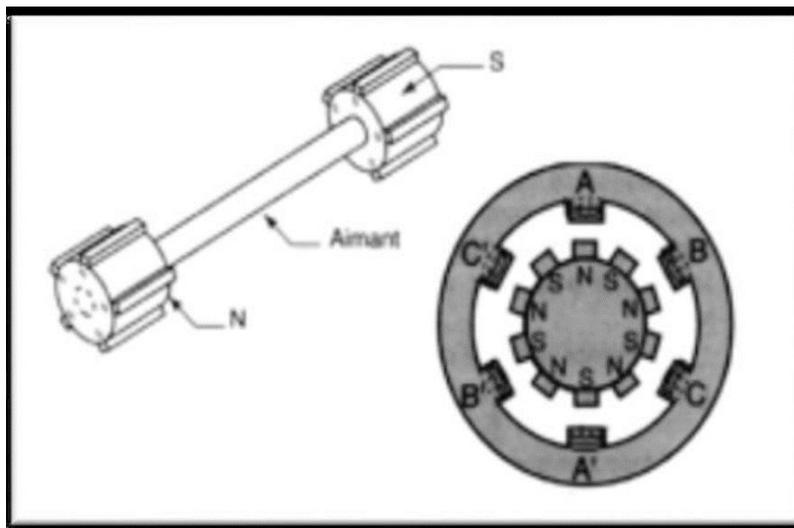


Figure I-10 : Moteur hybride

ii. Caractéristiques principales du moteur hybride

- Le sens de rotation dépend de l'ordre d'alimentation.
- Un couple développé assez important dû à l'action de l'aimant.
- Une inertie élevée (pour les moteurs à aimant).
- Une grande précision du positionnement.

Le moteur hybride le plus performant possède une résolution de 0.1° et 3600 pas par tour.

I.9.2 Comparaison des trois catégories de moteurs pas à pas

Le Tableau ci-joint permet de caractériser chaque type de moteur pas à pas.[8]

Tableau I-2 : Caractéristiques des différents types de moteurs pas à pas

Type de moteur	Moteur à aimant permanent	Moteur à réluctance variable	Moteur hybride
Résolution (nombre de pas par tour)	Moyenne	Bonne	Faible
Couple moteur	Elevé	Faible	Elevé
Sens de rotation	Dépend de : <ul style="list-style-type: none"> • Sens du courant pour le moteur bipolaire. • L'ordre d'alimentation des bobines. 	Il dépend uniquement de l'ordre d'alimentation des bobines.	Dépend de : <ul style="list-style-type: none"> • Sens du courant pour le moteur bipolaire. • L'ordre d'alimentation des bobines.
Fréquence de travail	Faible	Grande	Grande

D'après ce tableau, on constate que chacun des trois moteurs possède des caractéristiques spécifiques. Le moteur hybride présente de bonnes caractéristiques qui apparaissent surtout dans la résolution et le couple élevés. Pour les autres types de moteurs, on remarque que le moteur à aimant possède aussi des caractéristiques acceptables qui le rend le plus utilisé au marché à cause de leur couple élevé. Et la simplicité de leur construction. Au contraire au moteur hybride on remarque que le moteur à réluctance variable possède un faible couple et pour cela, ce moteur est le moins utilisé actuellement dans l'industrie.

I.10. Conclusion

Ce chapitre a traité des généralités sur les machines à commande numérique, leur historique et évolution. Ainsi que les différents types et modes de fonctionnement de ces appareils. Dans cette partie l'accent est également mis sur les parties importantes d'une machine-outil à commande numérique, sur les différents types d'usinage et la multitude d'axes ainsi que la particularité ou les similitudes entre les machines à plusieurs axes.

L'un des éléments importants dans une MOCN est le moteur pas à pas. Il assure le mouvement des axes de la machine et le mouvement de l'outil de coupe. Ce type de moteurs est privilégié particulièrement pour ces applications de par leur précision et leur solidité.

Chapitre II

Présentation du projet

II. Présentation du projet

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons définir le découpeur CNC ainsi que ses caractéristiques, à savoir ses dimensions, sa structure mécanique et les composants nécessaires pour le fabriquer. Nous allons également traiter le côté électrique, avec les composants électriques nécessaires, le raccordement ainsi que les instructions pour brancher les différents éléments de notre CNC. Nous allons aussi mettre en avant la programmation et la mise en marche de la machine en parlant de :

- Logiciels de conception
- Logiciels d'interprétation du G-code

Vers la fin du chapitre nous serons en mesure d'avoir une étude théorique complète sur notre découpeur et une vision globale du projet avant de procéder à sa concrétisation.

II.2. Le découpeur CNC à trois (03) axes

II.2.1 Définition

Un découpeur CNC à trois (03) axes est une machine à commande numérique ayant la possibilité, grâce à un outil de coupe, de découper les surfaces des différents métaux selon la capacité de l'outil.

Il existe différents outils de découpe à savoir, la découpe au fil chaud, plasma, laser... etc. L'outil est choisi selon la nécessité et l'environnement du travail.

La machine se compose principalement de :

- Trois axes linéaires dont chaque axe est doté d'un moteur pas à pas, un système de guidage et un système de transformation du mouvement de rotation du moteur en un mouvement de translation.

- Outil de découpe (torche plasma)
- Programme informatique et système de commande.



Figure II-1 : Schémas des constituants de la machine

II.2.2 Présentation du Projet

Le projet consiste à réaliser un prototype d'un découpeur CNC plasma à trois (03) axes, ayant la capacité de découper des plaques en acier de dimensions maximales (3000 x 1500 x 40 mm).

On peut résumer le prototype dans le graphique suivant :

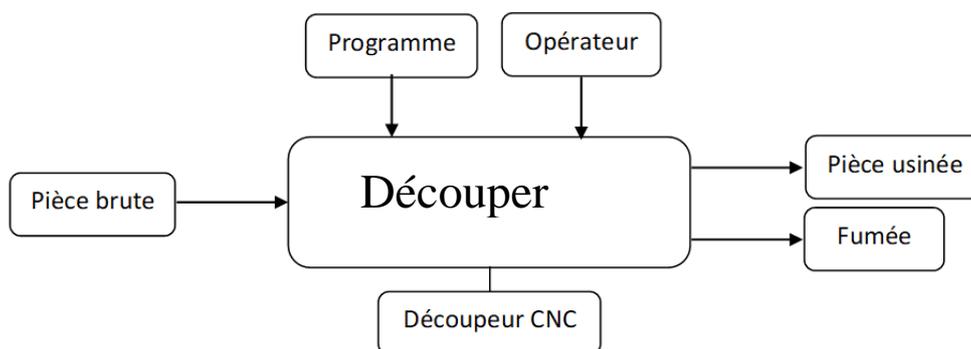


Figure II-2 : Actigramme de la machine

II.2.3 Contexte du projet

Avant de procéder à la réalisation de notre machine, il faut comprendre d'abord les enjeux et le besoin pour ensuite adapter la solution à ses derniers. Le projet doit répondre en effet aux besoins du marché et aux questions suivantes.

- Qui bénéficiera du produit ?
- Sur quoi, le produit agit-il ?
- Pourquoi, et dans quel but ?

Nous avons les réponses à ces trois questions. En plus simple, l'opérateur utilisera sa CNC sur des plaques en acier pour effectuer des opérations de découpe dessus.

Ci-après le diagramme de corne a bête pour illustrer mieux l'idée

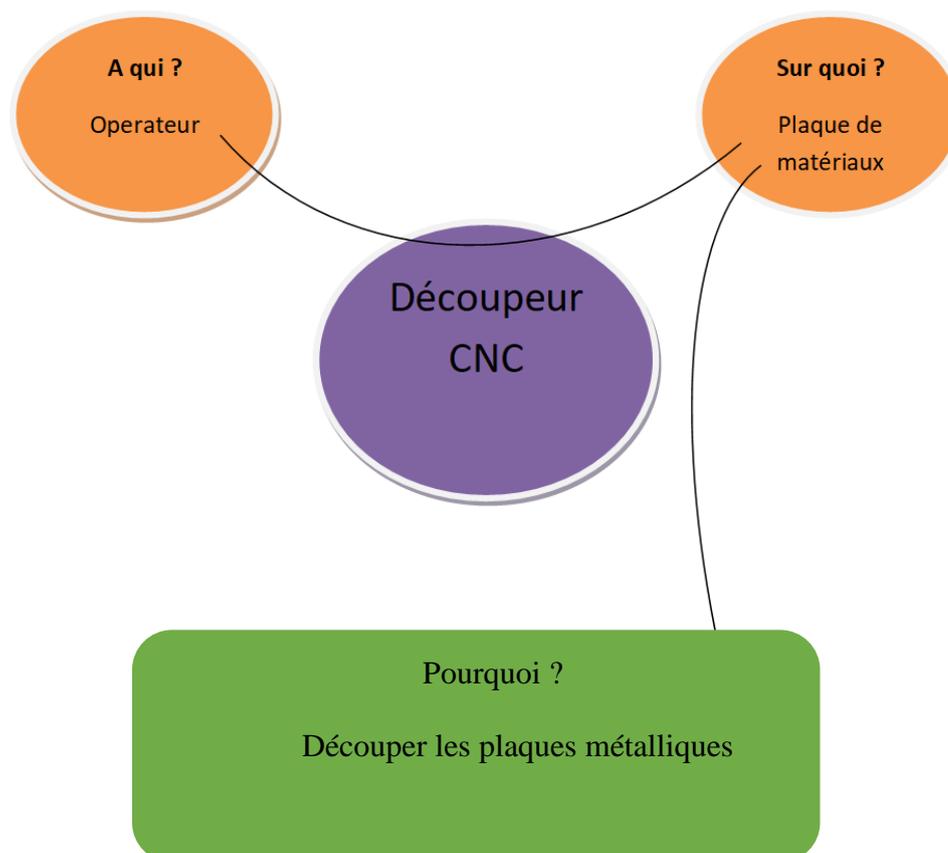


Figure II-3 : Diagramme bête à cornes de la machine

II.2.4 Les caractéristiques de la machine

Le découpeur que nous allons concevoir doit donc répondre aux caractéristiques suivantes :

Tableau II-1 : les différents composants du découpeur

Eléments de la machine	Composition
Structure mécanique	Châssis
	Axes de déplacement
	Outils d'assemblage des différentes parties
Partie électrique	Moteur pas à pas
	Capteur fin de course
	Raccordement
	Connecteurs
	Alimentation
Outil de coupe	Torche Plasma
	Système d'évacuation des fumées
Système de commande	Carte interface
	Drivers
	Logiciels informatique

Nous détaillerons par la suite chaque élément de la machine avec ses spécifications.

On précise que le choix des équipements pour une CNC dépend de plusieurs paramètres comme :

- Le budget
- La précision requise
- Le couple à transmettre
- La vitesse et l'accélération des déplacements

Il est également important de signaler l'importance de la cohérence lors de l'achat des équipements. Autrement dit, ça ne sert pas à grande chose d'avoir des systèmes de transmissions ultra précis par exemple si le châssis de la machine n'est pas rigide.

II.3. La structure mécanique

Dans cette partie nous allons nous intéresser à la structure mécanique de notre CNC, définir de quoi elle est composée, et justifier nos choix quant aux matériaux et composants choisis. Nous devons donc revoir les exigences, le contexte et les conditions de travail de cette machine et les prendre en considération. Tenir compte des caractéristiques et de la disponibilité du matériel, ainsi que le coût de production sont des points à ne pas négliger pour l'aboutissement du projet en général.

Comme nous l'avons cité précédemment ; la structure mécanique, de notre découpeur, est constituée principalement d'un châssis sur lequel sont montés les axes de la machine et l'outil de coupe et sur lequel également sont placées les plaques à découper.

Le déplacement des axes se fait par la suite grâce aux signaux électriques émis par les moteurs pas à pas, d'où la nécessité d'adapter le câblage à la puissance du signal électrique. Ces axes sont dotés de mécanismes permettant de transformer le mouvement de rotation des moteurs en mouvements axiaux pour assurer le déplacement de l'outil de coupe.

Les moteurs, quant à eux, sont commandés par ordinateur. Avec des logiciels l'opérateur introduit le programme assurant la découpe de la pièce. Le programme est ensuite injecté dans une carte interface, qui à son tour fait convertir ces instructions en signaux électriques et fait donc tourner les moteurs.

II.3.1 Le châssis

Le châssis constitue le gabarit de la machine, c'est la structure principale et sur laquelle tous les autres composants sont montés (le système de transmission de mouvement de chaque axe, l'outil de coupe, les moteurs, la pièce à découper). Le châssis doit donc être suffisamment solide pour supporter les poids respectifs de chaque composant.

II.3.2 Les axes de déplacement

Dans cette partie nous allons parler des moyens assurant le mouvement des axes de la machine. Comme nous avons cité dans le tableau précédent, nous allons utiliser pour les axes X et Y des crémaillères soutenues par des rails de guidage et pour l'axe Z, nous allons utiliser une vis à bille soutenue quant à elle aussi par deux rails de guidage.

a. Le système pignon crémaillère

Le système pignon crémaillère permet de transformer le mouvement de rotation du pignon en un mouvement de translation de la crémaillère, ou vice versa, on peut donc dire qu'il s'agit d'un système de transmission réversible. Ce système comprend une roue dentée (pignon) et une tige dentée (crémaillère). Lorsque le pignon tourne, ses dents s'engrènent dans les dents de la crémaillère pour l'entraîner dans un mouvement de translation.



Figure II-4 : Pignon et crémaillère

Dans une CNC ce système présente les avantages suivants :

- Vitesses de déplacement et accélérations importantes
- Transmission d'importantes masses sur de longues distance
- Garde la même précision quel que soit la distance de déplacement
- Moins cher que les vis à bille surtout pour les longues distances

Malheureusement il compte aussi des inconvénients tels :

- Moins de précision par rapport aux vis à billes

b. La vis à bille

Une vis à billes est un mécanisme assurant la conversion d'un mouvement de rotation en un mouvement de translation (liaison hélicoïdale). C'est un équivalent du mécanisme de vis-écrou, où des billes sont intercalées entre les deux pièces.

La présence des billes permet de diminuer fortement le frottement qu'on rencontre dans un système vis-écrou simple. Les vis à billes s'imposent donc dans les cas :

- De transmission de puissance
- De mouvements de précision, le remplacement du frottement par le roulement amenant la quasi-disparition de l'usure des surfaces, et donc des jeux (mécanique)

Où on recherche une réversibilité de la conversion rotation / translation.



Figure II-5 : Vis à billes

Les avantages que la vis à bille présente dans une CNC sont :

- Très grande précision
- Absence totale de jeu lors de la transmission
- Absence de frottement lors de la transmission

Le principal inconvénient à reprocher à ce mode de transmission est le prix de commercialisation surtout pour les vis à billes conçues pour les grandes longueurs. Le phénomène de flambement peut aussi être remarqué sur les vis qui sont soumises à des grandes charges.

c. Les rails de guidage

Le système de guidage linéaire est composé de deux parties : le rail et le patin. Ce dernier se déplace à l'intérieur du rail, d'avant en arrière. Des roulements à recirculation de billes ou à galets sont les éléments mobiles de l'ensemble. Ils sont dotés de taraudages pour fixer l'objet à vouloir faire déplacer. Ils sont généralement construits en acier écroui à haute résistance pour

fournir un dispositif résistant à la corrosion. Ils sont fabriqués par un procédé d'étirage à froid qui forme et profile le métal afin de lui donner la forme du rail avant qu'il ne soit équipé d'un patin à roulements.

Ils sont connus pour les avantages suivants :

- La performance : Ils offrent effectivement un dispositif de guidage à faible frottement et une forte rigidité pour des charges allant de quelques grammes à plusieurs tonnes.
- La pratique : les rails linéaires peuvent fournir de très larges espaces de déplacement. Ils ont une rigidité plus élevée tout en présentant un excellent rapport charge/durée de vie.

La précision : ils offrent également une grande précision de déplacement. Toutes ces caractéristiques se combinent pour fournir un système de guidage linéaire parfaitement adapté aux applications qui exigent une haute précision, une grande rigidité et une longue durée de vie.



Figure II-6 : Rail de guidage avec chariot

II.3.3 L'assemblage de la structure mécanique

Pour faciliter la tâche de construction ainsi que l'entretien de la structure nous devons réfléchir à une structure facilement démontable et donc plus accessible en cas de vouloir réparer un élément défectueux, changer un composant ou même modifier la surface de travail. Nous choisirons donc un assemblage par système de vis écrou pour les éléments.

II.4. La partie électrique

Dans cette partie nous allons nous concentrer sur les équipements électriques et électroniques nécessaires pour l'aboutissement du projet. Nous illustrons les différentes parties et les spécificités de chaque composant.

II.4.1 Les moteurs pas à pas

Le choix de la puissance des moteurs pas à pas va dépendre de :

- La masse de la structure spécialement de l'axe Z
- La vitesse de déplacement de l'outil

Pour déterminer la puissance nécessaire du moteur et donc des autres composants électroniques, nous devons avoir une idée sur les éléments faisant partie des axes pour déduire par la suite les masses à entraîner à l'aide des moteurs.

II.4.2 Les capteurs de fin de course

Dans notre système il faut trois capteurs de fin de course un pour chaque axe ils servent à déterminer la position initiale de l'axe et pour éviter les dépassements imprévus de l'outil en dehors de son espace de travail. A chaque initialisation le système viendra dans le sens opposé de l'axe. Elle sera la position au zéro.

Le capteur de fin de course électrique est constitué d'un microcontact à commande mécanique. Le microcontact est actionné par pression du levier à galet au moyen de la came d'un vérin p. ex. Les contacts ouvrent et ferment un circuit électrique.

Lorsque la came libère le levier à galet, le microcontact revient en position initiale.



Figure II-7 : Capteur de fin de course

II.4.3 Les connecteurs

Les connecteurs XLR sont le type le plus utilisé dans les machines CNC. Ce type de fiches est utilisé pour relier différents appareils professionnels. Ces connecteurs sont de section circulaire et possèdent entre trois et sept broches.

Nous avons besoin de quatre connecteurs pour notre système. Trois d'entre eux pour les moteurs (axe X, axe Y, axe Z). Le quatrième connecteur sera pour les trois capteurs de fin de course.

Il est important de noter que le nombre de broches du connecteur correspond au nombre de fils des moteurs (donc leur type). C'est également le même principe pour les capteurs de fin de course.



Figure II-8 : Connecteurs

II.4.4 Le raccordement et l'alimentation

A cette étape de travail, il est d'abord nécessaire de connaître certaines caractéristiques des éléments précédents des moteurs qui seront traités et par la suite les drivers et la carte interface. Le type de câblage dépend donc des composants électroniques précédemment cités.

II.5. L'outil de coupe

Avant de concevoir une machine, le choix de l'outil de coupe présente l'une des premières étapes lors de la réalisation de la CNC. En effet, le choix de la puissance et des caractéristiques de l'outil se fait selon :

- La nature du/ des matériaux à découper
- Les dimensions des objets à découper (l'épaisseur surtout)
- Le budget

Pour notre machine, nous voulons principalement découper avec une torche plasma des plaques en acier ayant les dimensions suivantes : (3000x1500 mm) pour 40 mm d'épaisseur.

II.5.1 La découpe plasma

Les systèmes plasma sont des appareils conçus pour couper des métaux et autres matériaux conducteurs de diverses épaisseurs. Un système plasma utilise l'électricité et le gaz pour créer un arc à très haute température (20 000° C), c'est-à-dire le plasma. Les systèmes plasma utilisent l'arc et le flux de gaz, qui donne la forme à l'arc, pour respectivement faire fondre le matériau et le chasser loin de l'arête de coupe.

Les systèmes plasma peuvent couper n'importe quel matériau électriquement conducteur : les plus communs sont l'acier, l'aluminium, l'acier inoxydable et le cuivre. Les découpeuses au plasma classiques peuvent couper une plaque allant jusqu'à 2" (50.8mm) d'épaisseur. Cependant, certaines machines industrielles spécialisées sont capables de couper des matériaux encore plus épais. Les découpeuses au plasma sont aussi utilisées pour le perçage, le gougeage et au façonnage.

Une découpeuse à l'arc plasma consiste en une torche et un bloc d'alimentation.

a. Le poste plasma

Le bloc d'alimentation est très semblable à une batterie : il peut fournir un courant électrique en CC. Le « moyen de transport » de ce courant électrique est ce que l'on appelle les électrons et les électrons possèdent une charge négative. Les électrons vont donc cheminer de la borne négative en suivant le trajet jusqu'à la borne positive, formant ainsi un circuit.

Il y a deux pièces « consommables » raccordées au circuit : ce sont l'électrode et la buse. « Consommables » signifie simplement que ces pièces sont peu à peu endommagées par le contact avec l'arc et la chaleur de l'arc plasma ; éventuellement, elles s'useront donc et auront à être remplacées. [10]

b. La Torche plasma

Les torches plasma sont alimentées en gaz et en courant par le bloc d'alimentation. Ensuite, elles contiennent une série de pièces consommables qui servent à donner la forme à l'arc plasma et à la maintenir. Au repos, l'électrode et la buse sont en contact. Le gaz « souffle » l'électrode pour la repousser, créant ainsi un espacement dans le cheminement du courant. Les électrons sont alors éjectés de l'électrode et entrent en collision avec les molécules neutres du gaz. Chaque collision libère d'autres électrons et crée ainsi des molécules de gaz chargées positivement (des ions). Une colonne de collisions en cascade se crée ; cette colonne émet de l'énergie thermique (ou chaleur) et un rayonnement lumineux (ou lumière) : c'est le plasma. Le gaz tourbillonnant à l'intérieur de la torche positionne l'arc précisément au centre de l'électrode et le pousse à l'extérieur de la buse, où il pourra servir à couper ou gouger le métal. [10]

II.5.2 L'évacuation des fumées

Toutefois, lors du procédé de découpage, des fumées toxiques sont dégagées et peuvent provoquer des dommages irréparables aux personnes autour. Les machines plasma doivent donc être équipées d'un évacuateur de fumées. Les aspirateurs industriels sont des éléments nécessaires pour assurer le déroulement de l'usinage en toute sécurité.

II.6. Le système de commande

La partie commande permet de commander les différents mouvements de la machine. Elle donne également la possibilité à l'opérateur de savoir en temps réel toutes les informations concernant le déroulement de l'usinage.

II.6.1 La carte interface

C'est la carte qui relie entre l'ordinateur et la machine permettant de convertir les signaux venants de la prise parallèle. C'est donc l'ordinateur qui envoie directement les signaux vers les drivers de commande des moteurs pas à pas. Les logiciels souvent utilisés dans cette configuration sont les logiciels Linux CNC (anciennement EMC2) ou le logiciel Mach3.

Le choix de la carte adéquate pour notre machine dépend, lui aussi, des drivers utilisés. Ces derniers seront choisis selon les puissances des moteurs.

Voici la figure ci-dessous montre un exemple d'une carte interface :

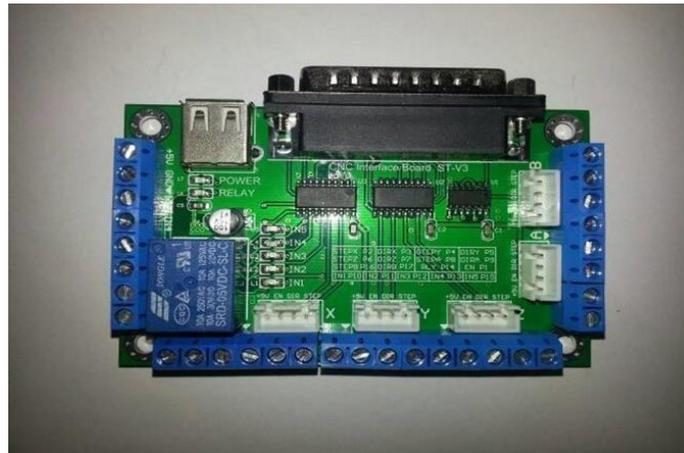


Figure II-9 : Carte interface

II.6.2 Les drivers (pilotage des moteurs pas à pas)

Cette carte de commande permet de contrôler facilement un moteur pas-à-pas jusqu'à certaine intensité précise de courant par phase. Elle fonctionne par défaut avec un nombre quelconque de micro-pas. Dotée d'un traducteur intégré (un microcontrôleur) pour une utilisation facile. Il existe deux broches pour le mode, une broche pour la direction et une pour la vitesse pour contrôler le moteur pas à pas.



Figure II-10 : Driver

II.6.3 Logiciels informatiques

a. Le logiciel de contrôle Mach3

Mach3 transforme un ordinateur typique en contrôleur de machine CNC. Il est très riche en fonctionnalités et offre une grande valeur à ceux qui ont besoin d'un package de contrôle CNC. Mach3 fonctionne sur la plupart des PC Windows pour contrôler le mouvement des moteurs

(pas à pas et servo) en traitant le G-Code. Tout en comprenant de nombreuses fonctionnalités avancées, il s'agit du logiciel de commande CNC le plus intuitif disponible. Mach3 est personnalisable et a été utilisé pour de nombreuses applications avec de nombreux types de matériel.

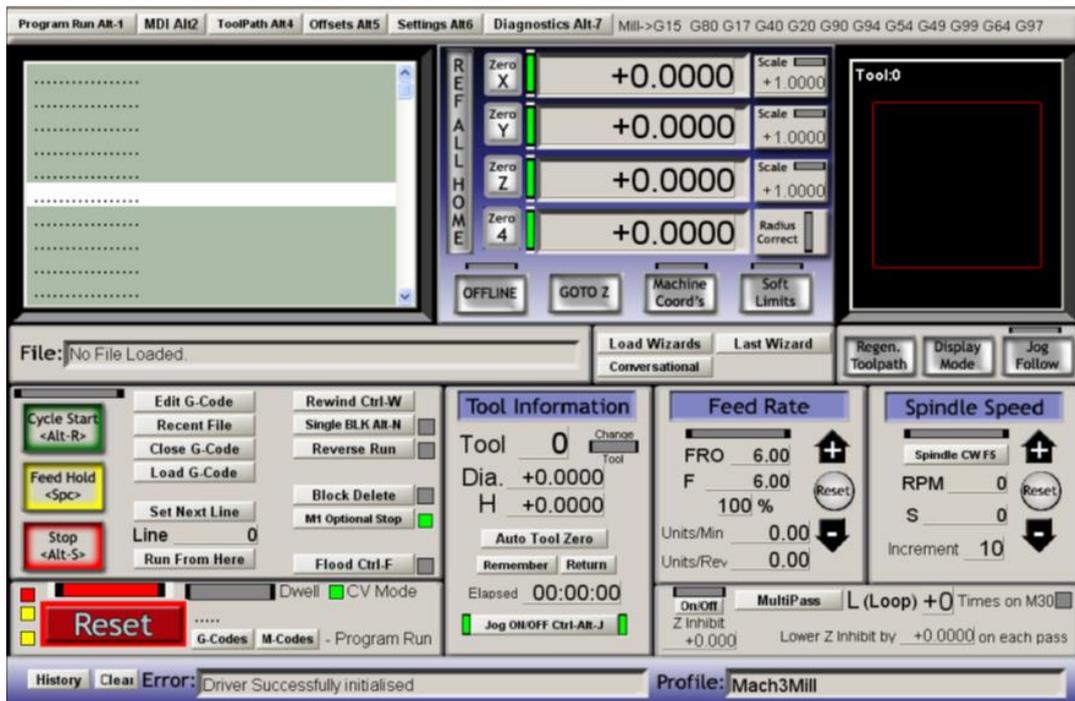


Figure II-11 : Interface principale du logiciel Mach 3

Au lancement du logiciel Mach3, on remarque qu'il y a beaucoup de boutons, afficheurs, et d'autres éléments qui encombrant l'écran. Mais en réalité il y a peu de choses à configurer dans le logiciel pour faire fonctionner la machine.

b. Que peut faire Mach3

Mach3 est un programme très flexible et paramétrable à n'importe quelle machine CNC. Il demande au préalable qu'on lui définit toutes les caractéristiques de la machine afin qu'il puisse l'actionner. Voici quelques paramètres à définir sur Mach3 :

- Un arrêt d'urgence (E-stop), un bouton qui doit être prévu sur chaque machine.
- Type de la consigne à générer, STEP/DIR ou bien Quad A/B.
- Les limites de l'espace de travail.

- Brochage des fins de course avec le PC.
- La vitesse Max pour chaque axe.
- Paramètres du contrôleur de l'outil.

c. Modes opératoires de Mach3

i. Mode manuel (Jogging)

Une fois le Mach3 lancé, Ce mode s'affiche en appuyant sur la touche TAB du clavier. Dans ce mode Nous pouvons commander manuellement la position de l'outil. La figure montre l'interface de commande manuelle de Mach3.

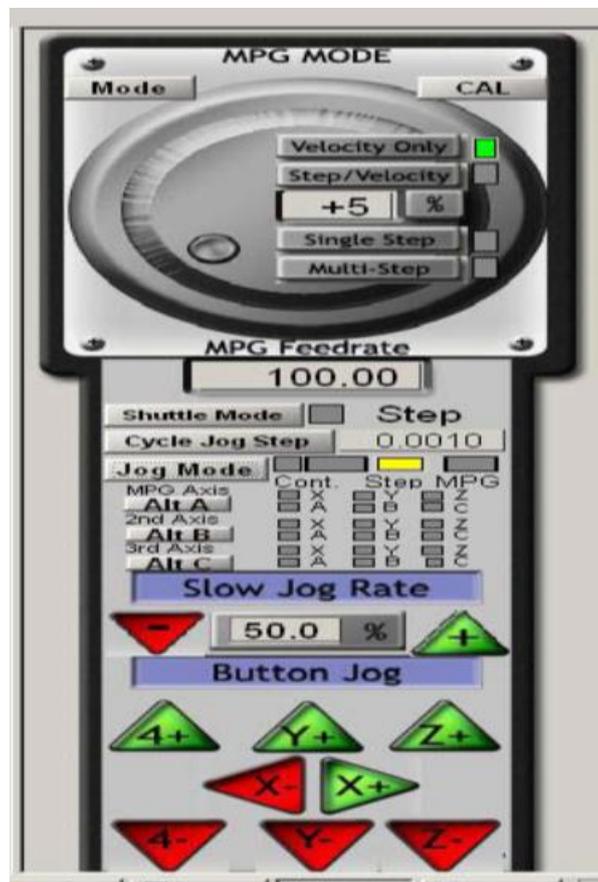


Figure II-12 : Interface de commande manuelle Mach 3

ii. Mode MDI

On utilise le mode MDI pour saisir manuellement le script G-code que nous voulons exécuter.

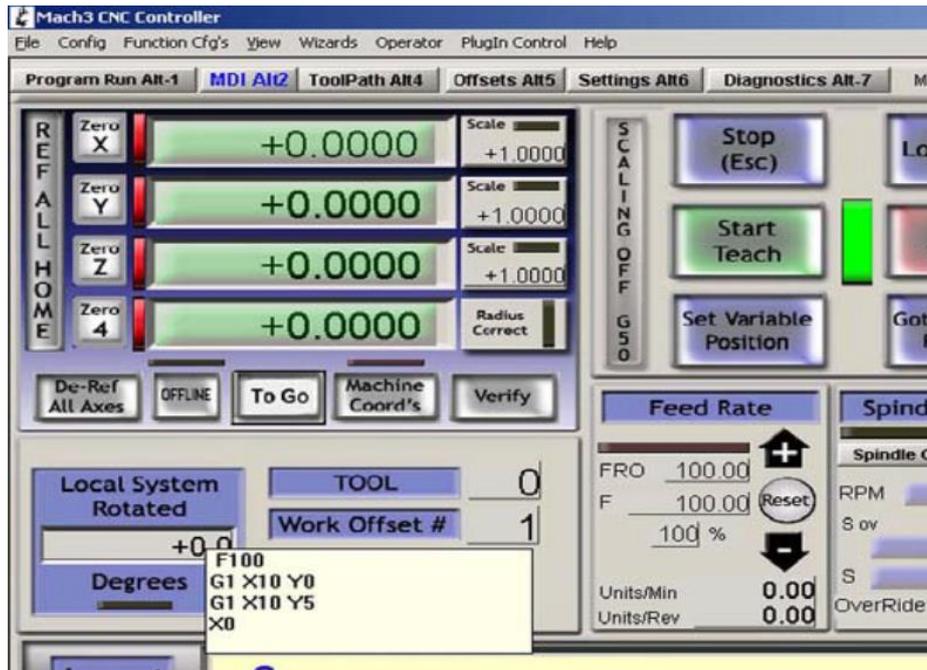


Figure II-13 : Capture de MDI

iii. Mode automatique

Dans ce mode, nous chargeons directement le fichier G-code comportant le programme à exécuter.

d. Le port parallèle du PC

Le Mach3 utilise le port parallèle pour générer ou recevoir les signaux électriques. Le port parallèle comprend 12 broches en sortie et 5 broches en entrées. La figure montre le sens des signaux de ce port.

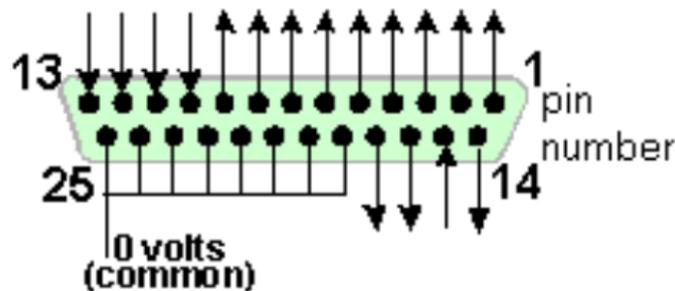


Figure II-14 : Représentation schématique d'un port parallèle

e. Le G-Code

i. Présentation

Le G-code est le langage de programmation pour contrôler une machine à commande numérique, normalisé par ISO (Organisation internationale de normalisation). Il est basé sur des lignes de code, plusieurs de ces lignes peuvent être regroupées dans un fichier pour créer un programme G-code, qui sert à programmer les mouvements que la machine va effectuer (droite, arc de cercle, etc.). Il est à noter que le G-code est utilisé pour des fraiseuses à commande numérique, des tours, des imprimantes 3D et des lasers de découpe.

ii. Les principales fonctions du G-code

Les principales fonctions du G-code sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau II-2 : les principales fonctions du G-Code

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	Écriture 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 Pouces par minute/Pouce par tour
G96/G97	Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante) /Vitesse de rotation constante ou annulation de G96.
M00/M01	Arrêt du programme, arrêt optionnel ou avec condition
M06	Changement d'outil
M30	Fin du programme, réinitialisation, rembobinage

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre projet, qui est la réalisation d'un découpeur plasma CNC. Nous avons donc illustré ses caractéristiques, à savoir : la surface utile de travail, les différentes parties de la machine (mécanique, électronique et informatique) ainsi que les constituants de chacune de ses parties et également le rôle de chaque composant. Nous avons conclu lors de l'élaboration de ce chapitre que la réalisation d'une CNC doit se faire selon une logique et une étude bien approfondie du besoin tout en tenant compte surtout du budget du constructeur. Une fois le besoin est sondé, il est nécessaire de choisir en premier lieu l'outil de coupe et par conséquent sa puissance. Après cette étape, vient l'étape de calcul des éléments de la machine. Le croquis nous permet d'avoir une idée globale sur notre CNC. Modéliser la structure mécanique permettra au concepteur de connaître les dimensions nécessaires, les matériaux à utiliser et le poids de sa machine. Ces données lui seront par la suite utiles afin de pouvoir calculer la puissance adéquate pour entrainer chaque axe et par conséquent choisir la puissance des moteurs pas à pas en fonction de ces données.

Chapitre III

Dimensionnement

III. Dimensionnement

III.1. Introduction

Après avoir introduit les machines à commande numérique ainsi que leurs avantages et leurs domaines d'utilisation dans le premier chapitre, et après avoir défini les propriétés voulues pour notre CNC ainsi que ses différents composants et la fonctionnalité de chacun de ses éléments dans le deuxième chapitre. Nous allons donc dédier ce troisième chapitre aux calculs nécessaires et au dimensionnement des éléments de la CNC, à savoir le choix du poste plasma, les puissances des moteurs pas à pas, les caractéristiques des éléments assurant la transformation de mouvement et au final la rigidité du châssis de la machine.

III.2. Choix du poste plasma

Le choix du poste plasma pour notre CNC s'est fait après avoir consulté plusieurs constructeurs dans le domaine et chercher également la disponibilité de l'équipement à l'intérieur du pays pour éviter au maximum des frais supplémentaires liés à l'importation. Notre choix s'est donc arrêté à la marque française GYS et au poste plasma de référence : CUTTER 125A TRI avec torche automatique et kit CNC.

Il s'agit d'un poste plasma capable de découper tous les aciers tout en assurant un refroidissement du poste optimal grâce au couloir de ventilation hermétique capable de séparer la poussière des composants. Ce poste plasma est capable de découper des épaisseurs de 57 mm pour une coupe rapide, 40 mm pour une coupe propre et 25 mm pour un perçage. Il assure également un gougeage de 12kg/h.



Livré avec pince de masse
(4m, 16 mm²)

Figure III-1 : Poste Plasma GYS 125 A TRI

III.3. Etude de l'axe Z

Dans cette partie nous allons nous intéresser à l'axe Z de la machine et définir ses composants ainsi que les propriétés que chaque partie doit avoir. Notre axe doit donc avoir un moteur pas à pas, une vis à bille, une glissière, la torche plasma ainsi que son support. Notre objectif donc sera de déterminer le couple du moteur pour déplacer la torche d'une part et les caractéristiques de la vis à bille et de la glissière assurant un déplacement fluide de l'axe.

On rappelle que les dimensions maximales à découper sont 3000 x 1500 x 40 mm. Nous posons donc les hypothèses suivantes selon l'axe Z :

- Course maximale 250 mm
- Vitesse d'avance 80 mm/s
- Pas de la vis 5 mm (ça veut dire qu'à chaque tour de vis l'écrou se déplace de 5 mm)

III.3.1. Calcul du couple moteur

$$C = \frac{F_{max} \times P \times S}{2000 \times \pi \times \eta}$$

Avec :

$C = \text{couple moteur } N.m$

$F_{max} = \text{la force maximale à soulever par la vis } (N)$

$P = \text{pas de la vis } (mm)$

$S = \text{Coéfficient de sécurité} = 2$

$\eta = \text{rendement} = 0.9$

Nous avons alors pour une masse de 25 Kg entre torche et support torche, la force maximale à soulever est :

$$F_{max} = M_{max} \times g = 25 \times 9.81 = 245.25 N$$

Ainsi nous aurons :

$$C = \frac{245.25 \times 5 \times 2}{2000 \times \pi \times 0.9} = 0.434 N.m$$

On choisit donc un moteur **NEMA 17** avec un couple **$C = 0.44 Nm$**

Le moteur pas à pas bipolaire 42HS02 présente les caractéristiques suivantes :

- Diamètre arbre 5 mm
- Taille moteur NEMA 17
- Nombre de phases 2
- Couple 0.44 Nm
- Longueur 48 mm
- Poids 0.35 Kg
- Inductance 5.0 mH
- Résistance 1.8 ohm
- Courant Phase 1.68 A

Figure III-2 : Caractéristiques du moteur de l'axe Z (1)

Résolution angulaire	0.9°
Précision de positionnement des pas	+5%(Pas entier, sans charge)
Température maximum	80°CMax
Température ambiante d'utilisation	-10°C -- +50°C
Résistance d'isolement	100MΩmin.500VDC
Rigidité diélectrique	500VAC durant une minute
Nombre de fils	4 fils

Figure III-3 : Caractéristiques du moteur de l'axe Z (2)

Modèle	Raccordement	Couple de blocage Nm	Courant Phase (A)	Résistance phase (Ohm)	Inductance phase (mH)	Inertie rotor g.cm ²	Poids Kg
42HS047	Bipolaire	0.44	1.68	1.8	5.0	68	0.35

Figure III-4 : Caractéristiques du moteur de l'axe Z (3)

III.3.2. Puissance motrice nécessaire

$$P_a = \frac{C \times n}{9550}$$

$$P_a = \text{Puissance moteur (Kw)}$$

$$C = \text{Couple moteur (N.m)}$$

$$n = \text{vitesse de rotation } \left(\frac{\text{tr}}{\text{min}}\right)$$

Déduisons à présent la vitesse de rotation de la vis :

Nous avons la vitesse d'avance $V = 80 \text{ mm/s}$ et le pas $P = 5 \text{ mm}$ et il correspond à un tour de l'écrou. Donc $V = n \times P$ et on déduit que :

$$n = \frac{V}{P} = \frac{80}{5} = 16 \frac{\text{tr}}{\text{s}} = 960 \text{ tr/min}$$

Finalement :

$$P_a = \frac{C \times n}{9550} = \frac{0.44 \times 960}{9550} = 0.044 \text{ Kw} = 44 \text{ W}$$

III.3.3. Choix de la vis à billes

Essentiellement, le choix de la vis à billes repose sur les critères suivants :

- Vérification des conditions d'utilisation
- Sélection provisoire de la vis à bille
- Vérification de la charge axiale admissible

- Vérification de la vitesse de rotation admissible
- Vérification pour le flambage

Pour les conditions d'utilisation, nous avons :

- Course : 250 mm
- Vitesse de déplacement : 80 mm/s
- Vitesse du moteur d'entraînement : 960 tr/min
- Poids de la pièce à entraîner : 25Kg
- Orientation du montage : vertical avec le croquis suivant

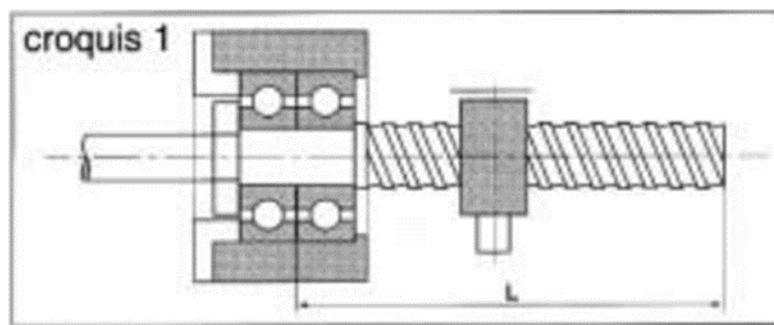


Figure III-5 : Croquis du montage de la vis à billes [15]

Nous choisissons préalablement la vis à bille et l'écrou ayant les caractéristiques suivantes :

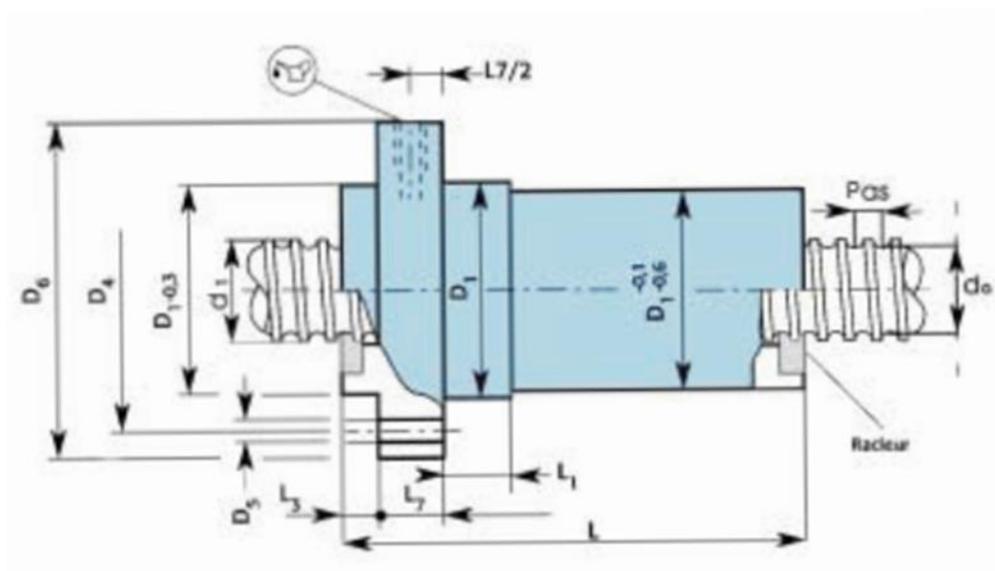


Figure III-6 : Vue de face de la vis [15]

Donc :

$$F_{adm} = \frac{C_{stat}}{f_s} = \frac{245.25}{2} = 122.63 \text{ N} < 10.9 \text{ KN}$$

b. Vérification de la vitesse de rotation admissible

$$n = 1.2 \times 10^8 \times \frac{a \times d_0}{L^2} \left(\frac{tr}{min} \right)$$

Avec :

$$n = \text{vitesse de rotation } tr/min$$

$d_0 = \text{diamètre du fond du filet (mm)}$

$a = \text{facteur caractérisant le montage} = 0.365 \text{ pour notre montage}$

$L = \text{distance entre les centre des paliers de la vis}$

Finalement :

$$n = 1.2 \times 10^8 \times \frac{0.365 \times 12.7}{250^2} \left(\frac{tr}{min} \right)$$

$$n = 9060.16 \frac{tr}{min} > 960 \frac{tr}{min}$$

c. Vérification pour le flambage

La vis en question ne subit aucune charge de compression et ne doit donc pas être vérifiée du flambage

Toutefois, la charge maximum en compression avec un facteur de sécurité de 20% est :

$$F = \frac{1.017 \times 10^5 \times b \times d_0^4}{L}$$

III.3.4. Choix des patins de guidage

Pour les rails de guidages, on choisit premièrement le rail puis le chariot :

Tableau III-3 : Paramètres du rail (Axe Z) [18]

Type	W_R	H_R	P	Longueur max	Longueur min
HGR15R	15	15	60	4000	132

Avec :

$W_R =$ Largeur des rails

$H_R =$ Hauteur des rails

$P =$ Séparation d'alésage

Longeurs (min et max) en mm

Pour le chariot, on choisit donc :

Tableau III-4 : Paramètres du chariot (Axe Z) [18]

Type	H	W	L	C_{dyn}	C_0
HGH15CA	28	34	61.4	11380	16970

Avec :

$H =$ Hauteur complète

$W =$ Largeur du chariot

$L =$ Longueur du chariot

$C_{dyn} =$ Charge dynamique (N)

$C_0 =$ Charge statique (N)

III.4. Etude de l'axe Y

III.4.1. Calcul du couple moteur pour un système pignon crémaillère

Sur l'axe des Y le système est basé sur un entraînement par pignon-crémaillère.

- Crémaillère de module $m=1,5\text{mm}$
- Pignon de même module et de 24 dents

Nous supposons que la vitesse d'avance est 300 mm/s .

D'après la note de calculs système nous avons :

$$C = F \times R$$

Avec :

$C =$ Couple moteur en (N.m)

$F =$ Force linéaire engendrée par le couple en (N)

$R =$ Rayon de pignon en (m)

Pour un pignon de module $m = 1,5\text{mm}$ et de $Z = 24$ dents, nous avons le diamètre primitif du pignon « d » est :

$$d = m \times Z$$

Donc :

$$d = 1,5 \times 24 = 36 \text{ mm}$$

On déduit donc que :

$$R = \frac{d}{2} = \frac{36}{2} = 18 \text{ mm}$$

a. Calcul de la résistance de la dent :

Cas d'un engrenage droit à denture droite

i. Méthode RDM

F_t Étant considérée perpendiculaire à l'axe de dent (cas de la denture). En considérant pour le calcul de la résistance à la flexion comme section dangereuse, non à la racine mais l'épaisseur curviligne au primitif (égal à $\frac{\pi m}{2}$), tout en calculant d'après la hauteur de la dent $h = 2,25m$

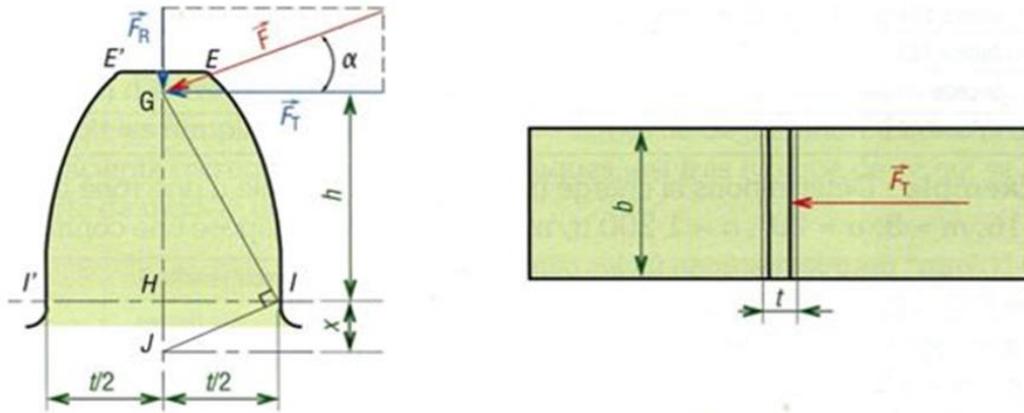


Figure III-8 : Eléments caractérisant la dent du pignon

La condition de la résistance à la flexion de la dent s'écrit comme suit :

$$\sigma = \frac{M_{f \max}}{\frac{I_{\alpha}}{v}} \leq \sigma_{adm} \Rightarrow \frac{I_{\alpha}}{v} \geq \frac{M_{f \max}}{\sigma_{adm}}$$

Le moment de flexion agissant à l'extrémité de la dent :

$$M_{f \max} = F_t \times h = 2.25m \times F_t$$

Le module « m » étant donnée toujours en (mm) Alors le (mm) étant l'unité de longueur

$$I_{\alpha} = \frac{bt^3}{12} \text{ et } v = \frac{t}{2}$$

Sachant que la largeur de la dent est :

$$b = K \times m$$

Alors on aura :

$$F_t \leq \frac{b}{m} \times \sigma \times \left(\frac{m}{2.34}\right)^2$$

Pour une contrainte admissible $\sigma_{adm} = 295 \text{ MPa}$ largeur $b = 20 \text{ mm}$ et module $m = 1.5 \text{ mm}$

$$F_t \leq 1616.26 \text{ N}$$

Donc :

$$C_{max} = F_t \times R = 1616.26 \times 0.018 = 29.10 \text{ N.m}$$

Ainsi, la dent du pignon résiste à un couple maximal de 29.10 N.m

Or, on a la masse totale de l'axe Z est : 25 kg

Donc l'estimation des charges sur l'axe des Y tend vers 50 Kg

Donc on aura besoin d'une force de :

$$F = M \times g = 50 \times 9,81 = 490.5 \text{ N}$$

Pour $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, le couple nécessaire est :

$$C = F \times R = 490.5 * 0,018 = 8.829 \text{ N.m}$$

C'est un couple théorique d'où la nécessité d'une majoration de sécurité de 20% donc :

$$C = 8.829 \times 1,2 = 10.595 \text{ N.m}$$

Alors le choix du moteur c'est **NEMA 34** un couple de **C = 12 Nm**

Le tableau suivant résume les caractéristiques de ce dernier :

▪ Diamètre arbre	16mm + Clavette 5mm
▪ Taille moteur	NEMA 34
▪ Nombre de phases	4
▪ Couple	12 Nm
▪ Longueur	156 mm
▪ Poids	5.3 Kg
▪ Inductance	8.68 mH
▪ Résistance	1.46 ohm
▪ Courant Phase	4.2 A (Unipolaire)

Figure III-9 : Caractéristiques du moteur de l'axe Y (1)

Résolution angulaire	1.8°
Précision de positionnement des pas	+5%(Pas entier, sans charge)
Température maximum	80°CMax
Température ambiante d'utilisation	-10°C -- +50°C
Résistance d'isolement	100MΩmin.500VDC
Rigidité diélectrique	500VAC durant une minute
Jeu radial de l'arbre	0.06 Max.(sous charge de 450g)
Jeu axial de l'arbre	0.08 max.(sous charge de 450g)
Nombre de fils	8 fils

Figure III-10 : Caractéristiques du moteur de l'axe Y (2)

Modèle	Raccordement	Couple de blocage Nm	Courant Phase (A)	Résistance phase (Ohm)	Inductance phase (mH)	Inertie rotor g.cm ² (Oz-in-sec ²)	Poids Kg
86HS120	(Bipolaire) Parallèle	12.2	6.2	0.62±10%	4±20%	4000	5.4
	(Bipolaire) Série	12.2	4.2	2.5±10%	2.5±20%		
	Unipolaire	8.6	4.2	1.25±10%	8±20%		

Figure III-11 : Caractéristiques du moteur de l'axe Y (3)

b. Puissance motrice nécessaire

$$P_a = C \times \omega$$

Avec :

$$P_a = \text{Puissance motrice en Watt}$$

$$\omega = \text{vitesse angulaire en } \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

D'autre part, nous avons :

$$V = \omega \times R$$

Avec :

$$V = \text{vitesse d'avance en m/s}$$

$$R = \text{Rayon du Pignon en m}$$

On déduit que :

$$\omega = \frac{V}{R} = \frac{0.3}{0.018} = 16.67 \text{ rad/s}$$

Finalement :

$$P_a = 12.2 \times 16.67 = 203.37 \text{ W}$$

III.4.2. Choix des rails de guidage

$$F_{adm} = \frac{C_{stat}}{f_s} = \frac{490.5}{2} = 245.25 \text{ N}$$

Pour les rails nous choisissons deux rails de longueur 1700 mm chacune :

Tableau III-5 : Rail de l'axe Y [18]

Type	W _R	H _R	P	Longueur max	Longueur min
HGR15R	15	15	60	4000	132

Et pour les chariots :

Tableau III-6 : Chariot de l'axe Y [18]

Type	H	W	L	C _{dyn}	C ₀
HGH15CA	28	34	61.4	11380	16970

III.5. Etude de l'axe X

Pour la transformation de mouvement et l'entraînement selon l'axe X nous allons utiliser également le système du pignon crémaillère avec les mêmes caractéristiques que celles utilisées pour l'axe Y, la seule différence sera donc la longueur de la crémaillère.

III.5.1. Calcul du couple moteur pour un système pignon-Crémaillère

- Crémaillère de module $m=1,5\text{mm}$
- Pignon de même module et de 24 dents
- Nous posons que la vitesse d'avance est 500 mm/s .

$$C = F \times R$$

Avec :

$C =$ Couple moteur en (N.m)

$F =$ Force linéaire engendrée par le couple en (N)

$R =$ Rayon du pignon en (m)

Pour un pignon de module $m = 1,5\text{mm}$ et de $Z = 24$ dents, nous avons le diamètre primitif du pignon « d » est :

$$d = m \times Z$$

Donc :

$$d = 1.5 \times 24 = 36 \text{ mm}$$

On déduit donc que :

$$R = \frac{d}{2} = \frac{36}{2} = 18 \text{ mm}$$

a. Calcul de la résistance de la dent

De même que l'axe Y :

$$F_t \leq \frac{b}{m} \times \sigma \times \left(\frac{m}{2.34}\right)^2 \text{ avec : } b = 20 \text{ mm, } m = 1.5 \text{ mm et } \sigma = 295 \text{ MPa}$$

$$F_t \leq 1616.26 \text{ N}$$

Donc, comme pour l'axe Y :

$$C_{max} = F_t \times R = 1616.26 \times 0.018 = 29.10 \text{ N.m}$$

La dent du pignon résiste à un couple maximal de 29.10 N.m

Sachant que l'estimation des charges sur l'axe des X tend vers 100 Kg.

Donc on aura besoin d'une force de :

$$F = M \times g = 100 \times 9.81 = 981 \text{ N}$$

D'où le couple nécessaire est :

$$C = F \times R = 981 \times 0,018 = 17.658 \text{ N.m}$$

C'est un couple théorique d'où la nécessité d'une majoration de sécurité de 20% donc :

$$C = 17.658 \times (1,2) = 21.189 \text{ N.m}$$

Le moteur adéquat serait donc un **NEMA 42** avec un couple de **$C = 22 \text{ N.m}$**

Le tableau suivant résume les caractéristiques de ce dernier :

Numéro de pièce du fabricant: 42HS59-6004S
 Type de moteur: bipolaire
 Angle de pas: 1.8 deg
 Couple de maintien: 22Nm(3115oz.in)
 Courant/phase: 6.0A
 Tension: 4.8V
 Résistance/phase: 0.8ohms
 Inductance: 14mH \pm 20%(1KHz)

Figure III-12 : Caractéristiques du moteur de l'axe X (1)

Spécification électrique	
Angle de pas(°)	1.8
Bipolaire/Unipolaire	Bipolaire
Couple de maintien(Ncm)	2200
Couple de maintien(oz.in)	3115
Courant évalué(A)	6
Inductance(mH)	14
Résistance/phase(ohm)	0.8

Figure III-13 : Caractéristiques du moteur de l'axe X (2)

Dimensions: 110 x 110mm
 Longueur du moteur: 150mm
 Diamètre d'arbre: $\Phi 19$ mm
 Longueur de l'arbre: 55.37mm
 Longueur de Key Way: 35mm
 Nombre de cable: 4
 Longueur de Cable: 500mm

Figure III-14 : Caractéristiques du moteur de l'axe X (3)

b. Puissance motrice nécessaire

$$P_a = C \times \omega$$

Avec :

$P_a =$ Puissance motrice en Watt

$\omega =$ vitesse angulaire en $\frac{rad}{s}$

D'autre part, nous avons :

$$V = \omega \times R$$

Avec :

$V =$ vitesse d'avance en m/s

$R =$ Rayon du Pignon en m

On déduit que :

$$\omega = \frac{V}{R} = \frac{0.5}{0.018} = 27.78 \text{ rad/s}$$

Finalement :

$$P_a = 22 \times 27.78 = 611.16 \text{ W}$$

III.5.2. Choix des rails de guidage

$$F_{adm} = \frac{C_{stat}}{f_s} = \frac{981}{2} = 490.5 \text{ N}$$

Pour les rails nous choisissons deux rails de longueur 3200 mm chacune :

Tableau III-7 : Rail de l'axe X [18]

Type	W _R	H _R	P	Longueur max	Longueur min
HGR15R	15	15	60	4000	132

Et pour les chariots :

Tableau III-8 : Chariot de l'axe X [18]

Type	H	W	L	C _{dyn}	C ₀
HGH15CA	28	34	61.4	11380	16970

III.6. Le châssis

Notre châssis doit supporter le poids des plaques, des axes et des accessoires.

Nous avons des plaques en acier de dimensions maximales de 3000 x 1500 x 40 mm

La masse volumique des aciers varie entre 7500 et 8100 Kg/m³

Si la loi de la masse volumique est : $\rho = \frac{M}{v}$ donc la masse totale maximale d'une tôle serait :

$$M = \rho \times v = 8100 \times 3 \times 1.5 \times 0.04 = 1458 \text{ Kg}$$

La force exercée par la tôle sur la machine est :

$$F = M \times g = 1458 \times 9.81 = 14302.98 \text{ N} \approx 14.3 \text{ KN}$$

Et si la surface de la table de travail est : $S = 3.2 \times 1.7 = 5.44 \text{ m}^2$

La contrainte σ exercée sur la surface utile serait :

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{14302.98}{5.44} = 2629.22 \text{ Pa}$$

Pour la surface utile de travail nous choisirons donc des profilés dentés. Un système qui permet d'obtenir une excellente planéité et une rigidité à toute épreuve. L'autre avantage de ce système est la maniabilité et la facilité de fixation.

Cette table doit être soutenue ensuite par une structure mécano soudée en acier E335 qui est un acier de construction connu pour sa résistance mécanique élevée de l'ordre de **500 MPa** pour la rupture et **350 MPa** pour la limite élastique.

Le tableau suivant donne les caractéristiques de l'acier de construction E 335 à 20°C :

Tableau III-9 : Propriétés de l'acier E335

Densité	7.85
Module de Young	210 GPa
Coefficient de poisson	0.28
Teneur en Carbone	0.45 %
Teneur en Manganèse	0.8 %
Teneur en Silicium	0.25 %
Teneur en Souffre	0.015 %
Teneur en Phosphore	0.015 %
Teneur en Fer	Basse

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons procédé aux calculs nécessaires pour nous permettre de bien choisir nos équipements et de les dimensionner à fin d'avoir une machine capable de satisfaire les conditions de travail et être suffisamment résistante pour porter des poids plus au moins importants.

Ce chapitre nous a permis également de savoir prendre en considération les dimensions des équipements en vente et de faire en sorte, lors des dimensionnements, de choisir les dimensions selon la nécessité mais aussi selon la disponibilité des outils comme les rails de guidage, les vis à billes et les moteurs pas à pas.

Nous avons donc essayé de faire en sorte un certain équilibre entre les besoins en matière d'équipements et la disponibilité de ces derniers sur le marché.

Chapitre IV

Electronique de la CNC

IV. Electronique de la CNC

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons voir les composants électroniques choisis pour notre CNC à savoir les drivers des moteurs pas à pas, la carte interface et le boîtier d'alimentation. Nous donnons les fiches techniques de ces composants ainsi que la manière dont chaque composant doit être branché.

A la fin de ce chapitre nous serons en mesure de connecter les composants électroniques de notre CNC, que ce soit entre eux ou avec l'ordinateur.

IV.2. Driver de moteurs pas-à-pas DM860

IV.2.1. Définition

Le DM860 est un driver digital de moteurs pas-à-pas basé sur un circuit DSP fabriqué par Leadshine. Il fait partie de la dernière génération de contrôleurs de moteurs pas-à-pas et apporte un niveau unique de fluidité de mouvement, procure un couple optimum et une bonne stabilité. Les moteurs peuvent fonctionner plus silencieusement, avec moins d'échauffement et un mouvement plus régulier qu'avec les drivers classiques. Ses caractéristiques uniques font du DM860 une solution idéale pour des applications exigeantes.

Et dans notre système on a besoin de trois drivers DM860 pour les trois moteurs.



Figure IV-1 : Driver DM860

IV.2.2. Applications

Convient pour une large gamme de moteurs pas-à-pas. Il peut être utilisé dans des applications multiples, telles que imprimantes, robots, tables X-Y, machines à étiquettes, etc.

IV.2.3. Spécifications électriques

Tableau IV-1 : Spécifications électriques du driver à 25°C

Paramètres	DM860			
	Min	Typique	Max	Unité
Courant de sortie	1	-	7.2	A
Tension d'alimentation	24	68	80	Vcc
Intensité signal logique	7	10	16	mA
Fréquence d'impulsion	0	-	200	KHz
Largeur d'impulsion	2.5	-	-	µs
Tension d'impulsion	-	5	-	Vcc
Resistance d'isolation	500			Mohms

IV.3. Choix de l'alimentation

La tension d'alimentation détermine les performances du moteur à haute vitesse tandis que le courant détermine le couple de sortie du moteur spécialement à faible vitesse. Une tension d'alimentation élevée permettra d'atteindre des vitesses élevées, mais l'échauffement et le bruit seront plus importants. Si la vitesse demandée est faible, il est préférable d'utiliser une tension d'alimentation plus faible pour diminuer le bruit et l'échauffement et améliorer la fiabilité de fonctionnement.

IV.3.1. Alimentation régulée ou non-régulée

Il est possible d'alimenter le driver avec une alimentation continue régulée ou simplement redressée et filtrée (non-régulée). Cependant, les alimentations non-régulées sont plus aptes à procurer un courant important instantanément.

Lors de l'utilisation d'une alimentation régulée, il faut prévoir une réserve de puissance suffisante pour assurer un fonctionnement correct en toutes circonstances (par exemple prendre une alimentation de 4A pour un courant nécessaire de 3A).

IV.3.2. Choix de la tension d'alimentation

Le driver peut fonctionner de 24 à 80 Vcc, fluctuations et force contre-électromotrice générée par le moteur inclus. Une tension d'alimentation élevée augmente le couple à haute vitesse, ce qui permet d'éviter de perdre des pas. Cependant, une tension d'alimentation élevée peut causer des vibrations du moteur à vitesse réduite et une surtension peut mettre le driver en protection ou l'endommager.

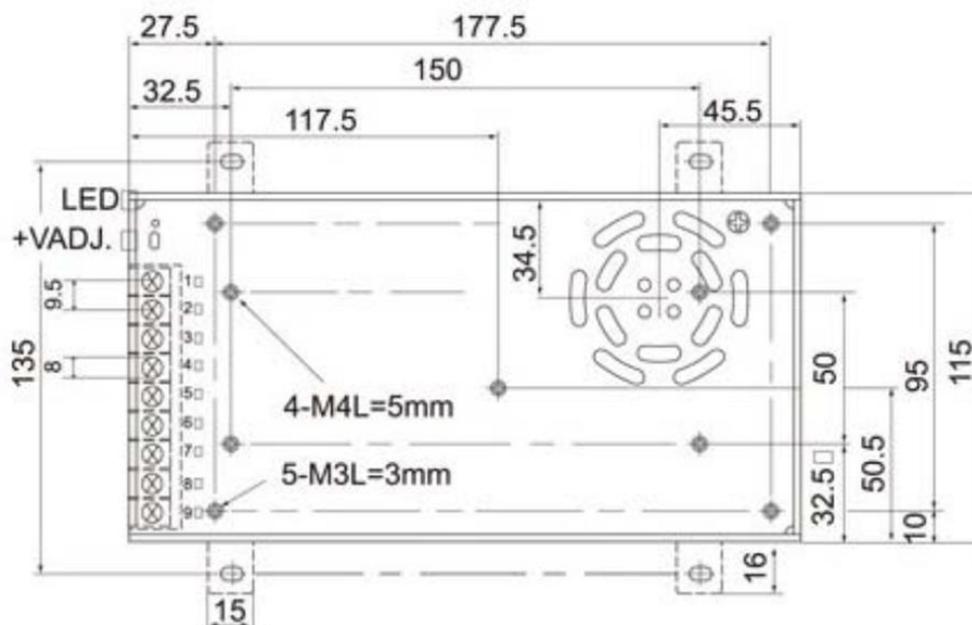
Il est donc conseillé de choisir la tension d'alimentation suffisamment haute pour l'application envisagée, et de ne pas sortir de la plage 24 Vcc à 68 Vcc.

IV.3.3. Le boîtier d'alimentation

Le boîtier, à travers sa fiche technique présente des caractéristiques qui satisfaites les besoins des drivers en matière d'intensité électrique. Ci-dessous sa fiche technique :

Tableau IV-2 : Fiche technique du boîtier

Fiche technique boîtier S350 - 60	
Tension	60V
Tolérance de tension	+/- 1%
Courant nominal	5.85 A
Plage de courant	0 – 5.85 A
Puissance nominale	350 W
Température de travail	-20 °C - +85 °C
Taux d'humidité	10% - 95%
Dimensions	215 x 115 x 50 mm
Poids	0.9 Kg

**Figure IV-2 : Boîtier d'alimentation****Figure IV-3 : Vue de dessus du boîtier**

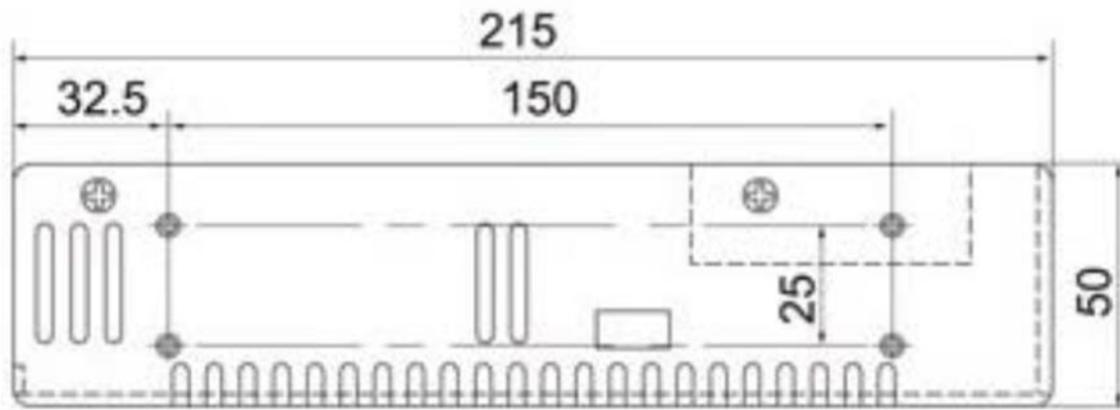


Figure IV-4 : Vue de face du boîtier

IV.4. La carte interface

La carte d'interface, comme cité dans le chapitre II, sert de relais entre la machine CNC et le micro-ordinateur de l'utilisateur. C'est à travers ces composants que le prototype à usiner est converti en signaux électriques interprétés et exécuté ensuite par les moteurs pas à pas et l'outil de coupe.

Le choix de la carte s'est donc porté sur le modèle de SORPLOEC InterpCNC V2.1D. Il s'agit d'une carte qui a la capacité de contrôler jusqu'à 5 axes. Elle est également compatible avec le logiciel Mach3. La carte InterpCNC dispose d'une fonction d'asservissement de la position de l'axe Z. Cette fonctionnalité permet une gestion autonome de la régulation THC lors d'une découpe au plasma ou d'une régulation de profondeur de graveur. Ci-joint une illustration de la carte ainsi que ses ports différents.

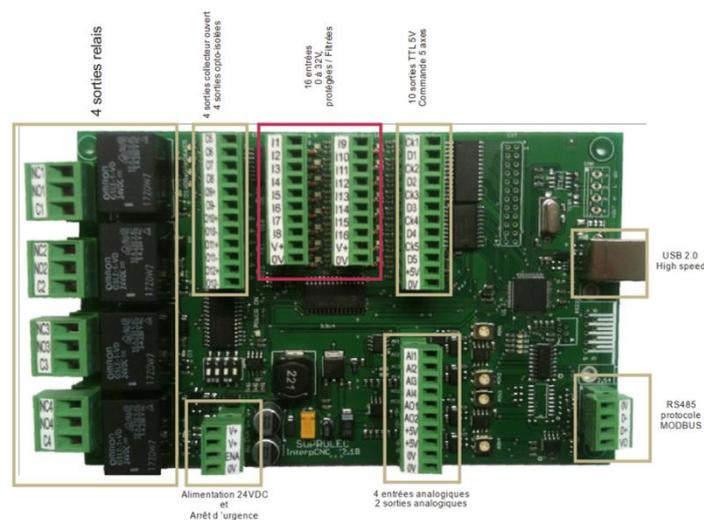


Figure IV-5 : Carte interface InterpCNC

Tableau IV-3 : Fiche technique de la carte interface

Fiche technique de la carte InterpCNC	
Tension	12 à 28 V
Longueur	160 mm
Largeur	100 mm
Communication USB	Oui
Communication RS485	Oui (protocole Modbus RTU)
Entrée codeur incrémental	1
Sorties analogiques	2
Fonctions automates programmables	Oui
Nombre d'axes	5
Fréquence de pulses	200 KHz
Nombre d'entrées	16
Nombre de sorties	10
Entrées analogiques	4 (0 ..10VDC)

IV.5. Raccordement des composants

Dans cette partie nous allons illustrer la manière dont certains composants doivent être branchés à savoir, le raccordement des drivers, des moteurs pas à pas, des capteurs et de l'alimentation.

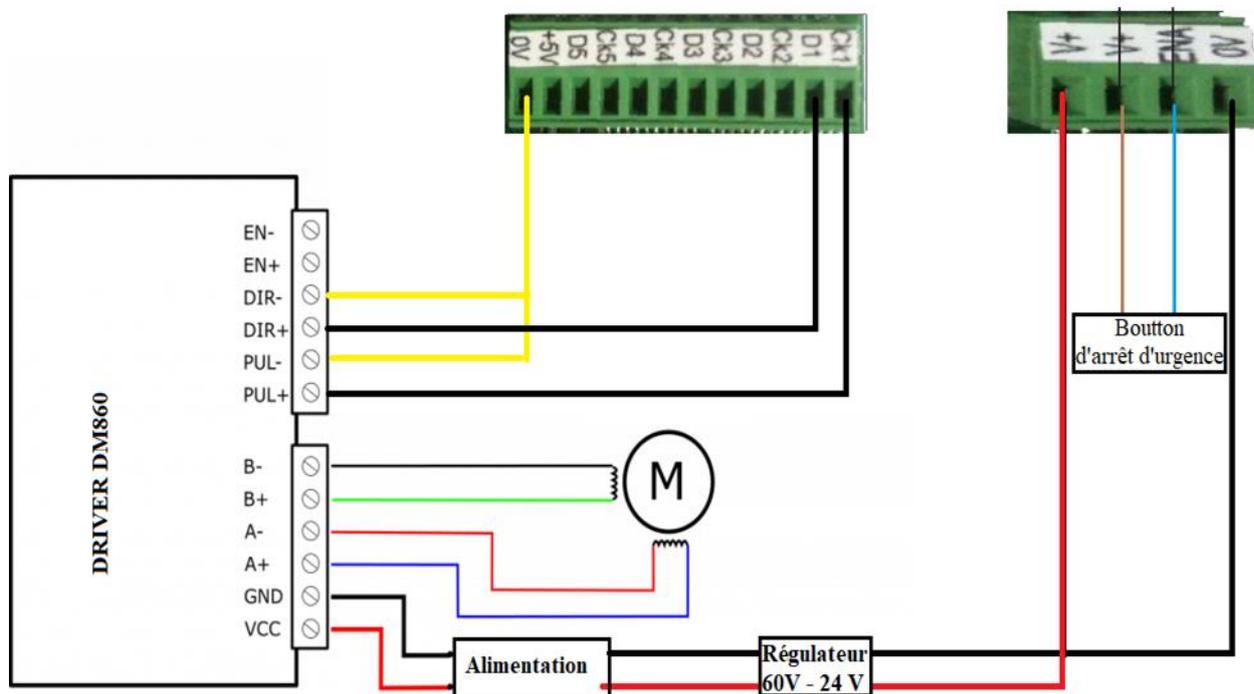


Figure IV-6 : Schémas de raccordement (Driver - moteur – alimentation- arrêt d'urgence)

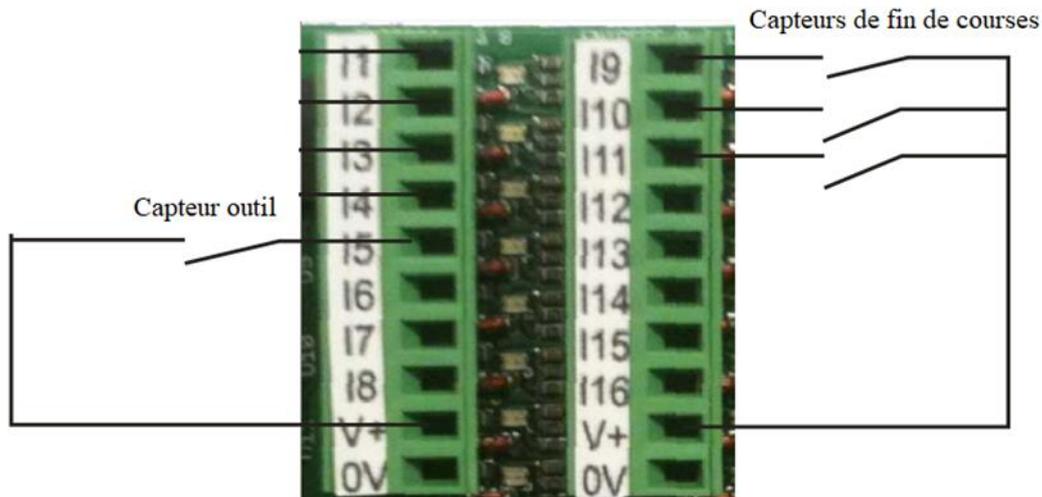


Figure IV-7 : Schémas de raccordement des capteurs

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes penchés sur le côté électronique de la CNC et le raccordement de ses composants. Nous avons choisi une carte interface 5 axes au lieu de 3 axes pour deux raisons majeures. La première étant pour anticiper une quelconque faille dans la carte en elle-même. En effet, il se peut que l'un des emplacements des raccordements des axes ne soit pas fonctionnel. Il est donc préférable de prévoir des emplacements de secours. La deuxième raison, quant à elle dépend des perspectives liées au développement de cette machine et à la possibilité de construire d'autres axes dans l'avenir.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce projet a pour but d'apporter des solutions réelles à un besoin spécifique en Algérie. Il s'agit du marché de production des machines CNC. A travers cette étude, nous avons pu modéliser un découpeur plasma CNC ayant la capacité de découper des plaques en acier de 3000 x 1500 x 40 mm. Une modélisation résultante des différents calculs et choix que ce soit du matériau de la structure, des moteurs pas à pas, systèmes de transformations de mouvement et de guidage, mais aussi le système de commande de la CNC.

Afin de mieux illustrer le travail, nous avons réparti le manuscrit en quatre chapitres traitant respectivement :

- Les généralités sur les machines à commandes numérique
- La présentation du projet de la CNC
- Le dimensionnement des éléments de la machine
- L'électronique de la CNC
- Les dessins de définitions de chaque composant ainsi que le dessin d'ensemble de la machine entière.

En conclusion, nous espérons compléter ce modeste travail par :

- La conception d'une armoire de commandes pour la machine
- L'élaboration d'une gamme d'usinage pour les différentes pièces
- Le développement de la machine par un ajout éventuel d'autres axes dans le futur.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] <https://www.dunod.com/sciences-techniques/construisez-votre-machine-cnc>, consulté le 25/03/2020
- [2] <https://lh3.googleusercontent.com/proxy/> consulté le 27/03/2020
- [3] <https://unisonstekco.com/fr/fonctionnement-des-machines-cnc/> consulté le 27/03/2020
- [4] <https://www.usimm.ca/quelles-sont-les-differences-entre-lusinage-3-axes-et-5-axes/> consulté le 27/03/2020
- [5] M. Abignoli, c. Goedel, « moteurs pas à pas », Techniques de l'ingénieur, D3690-1.
- [6] PATRICE OGUIC « moteurs pas à pas et PC », Série électronique et informatique 2ème édition Dunod, Paris, 2004
- [7] M. correvon, « système électromécanique » Haute école spécialisée de suisse occidentale.
- [8] https://www.eformation.uha.fr/moodle/pluginfile.php/44048/mod_resource/content/0/Moteur_Pas_a_Pas.pdf, consulté le 1er avril 2020
- [9] Patrick Hood-Daniel, James Floyd Kelly, Build your own CNC machine, 233 spring street, New York, 2009
- [10] Hypertherm, Technologie de coupage au plasma : Théorie et pratique, <https://xnet.hypertherm.com/Xnet/library/download/?file=HYP138322> consulté le 28 Avril 2020
- [11] https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/183322_fr.pdf consulté le 30 Avril 2020

[12] <https://www.makerslide-machines.xyz/fr/2017/03/12/systeme-de-pilotage-dune-cnc/> consulté le 5 Mai 2020

[13] << Mach3 CNC Controller Software Installation and Configuration >> Version3.

[14] << Using Mach3 Mill >>A user's guide to installation, configuration and operation.

[15] ECMU-CSR, catalogue de vis à billes, <http://si.lycee-desfontaines.eu/sequences-ts/we2/res/ressource-vis-a-bille.pdf> consulté le 15 mai 2020

[16] Carry, vis à billes, bases de calcul, https://www.gewinde.ch/files/Carry-Bases-de-calculs_FR.pdf consulté le 15 mai 2020

[17] Guide de sélection des vis à billes, https://fr.misumi-ec.com/pdf/fa/2014/P1_0681-0682_F10_FR.pdf consulté le 15 mai 2020

[18] Hiwin, motion & control systems, Guidages linéaires, guidages sur rails profilé, Accessoires, 2020 consulté le 18 mai 2020

[19] JEAN-LOUIS FRANCHON-guide des sciences technologies industrielles. Édition 2011,592p.

[20] <https://www.gotronic.fr/pj-783.pdf>, consulté le 20 aout 2020

ANNEXES

Fiches techniques des moteurs (NEMA 17, NEMA 34 et NEMA 42)

SPECIFICATION	CONNECTION	BIPOLAR
AMPS/PHASE		1,68
RESISTANCE/PHASE(Ohms)@25°C		1,65±10%
INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz		4.10±20%
HOLDING TORQUE(Nm) [lb-in]		0.44 [3.89]
STEP ANGLE(°)		0,90
STEP ACCURACY(NON-ACCUM)		±5,00%
ROTOR INERTIA(g-cm²)		68,00
WEIGHT(Kg) [lb]		0,35 [0,77]
TEMPERATURE RISE: MAX. 80°C (MOTOR STANDSTILL: FOR 2PHASE ENERGIZED)		
AMBIENT TEMPERATURE -10°C-50°C [14°F-122°F]		
INSULATION RESISTANCE 100 Mohm (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY)		
INSULATION CLASS B 130°C [266°F]		
DIELECTRIC STRENGTH 500VAC FOR 1MIN, (BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE)		
AMBIENT HUMIDITY MAX. 85% (NO CONDENSATION)		

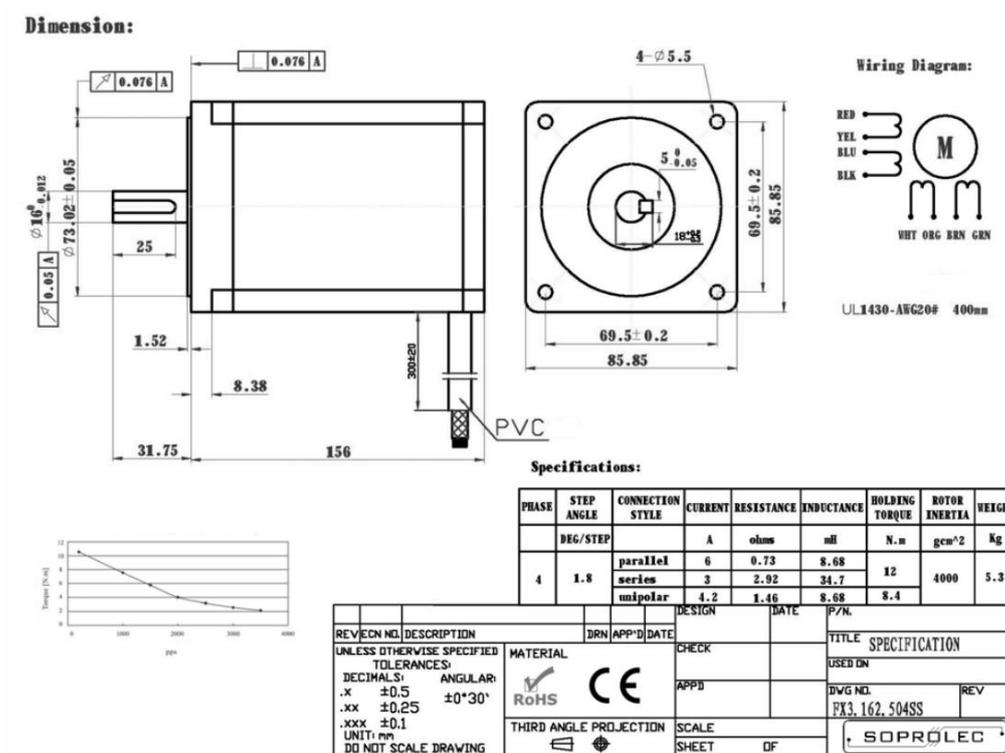
TYPE OF CONNECTION (EXTERN)		MOTOR	
PIN NO	BIPOLAR	LEADS	WINDING
1	A —	BLK	A
2	A\ —	GRN	A\
3	B —	RED	B
4	B\ —	BLU	B\

FULL STEP 2 PHASE-Ex. . .
WHEN FACING MOUNTING END (X)

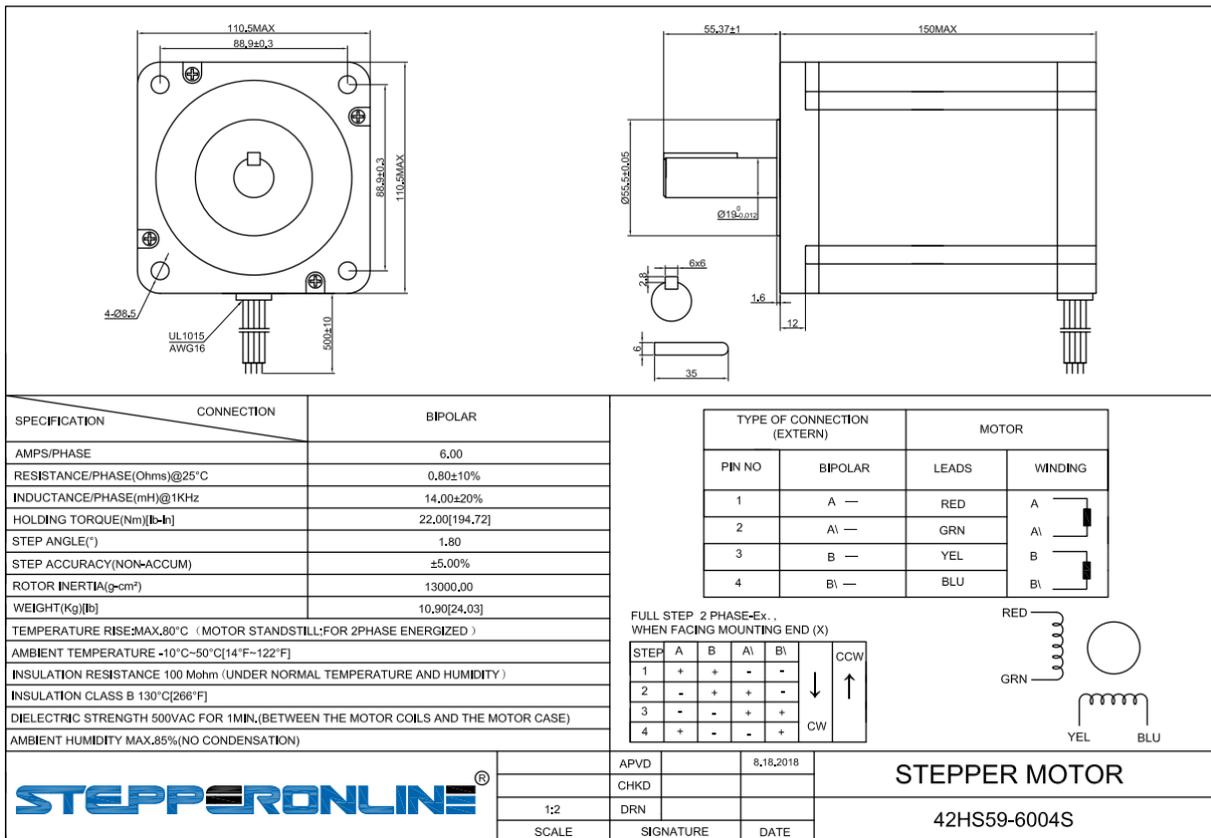
STEP	A	B	A\	B\	
1	+	+	-	-	CCW
2	-	+	+	-	↓
3	-	-	+	+	CW
4	+	-	-	+	↑

		APVD		8,18,2018	STEPPER MOTOR 42HS047
		CHKD			
1:1		DRN			
SCALE		SIGNATURE		DATE	

Fiche NEMA 17



Fiche NEMA 34



Fiche NEMA 42

Résumé

Etude et conception d'un découpeur plasma CNC à trois (03) axes

Le travail présenté dans ce mémoire consiste à traiter les machines CNC, particulièrement les découpeurs plasma. Il s'agit d'une étude et conception d'un découpeur plasma avec une surface de travail de 3000 x 1500 mm. Ce projet est divisé en quatre chapitres qui traitent les différents composants d'une CNC : que ce soit mécanique (châssis, guidage, outils de transformation de mouvements), électronique (moteurs pas à pas, drivers, carte de commande... ainsi que le raccordement de ces composants) et finalement le logiciel informatique (Mach3) permettant la liaison de la machine avec le micro-ordinateur. Les mises en plan sont également fournies afin de mieux illustrer le travail.

Mots clés : CNC, découpeurs plasma, guidage, outils de transformation de mouvement, moteurs pas à pas, drivers, carte de commande, mach 3.

Abstract

Study and design of a CNC plasma cutter with three (03) axes

The work presented in this thesis consists in processing CNC machines, particularly plasma cutters. This is a study and design of a plasma cutter with a working surface of 3000 x 1500 mm. This project is divided into four chapters which deal with the different components of a CNC: whether mechanical (frame, guide, motion transformation tools), electronics (stepper motors, drivers, control card ... as well as the connection of these components) and finally the computer software (Mach3) allowing the connection of the machine with the microcomputer. Drawings are also provided to better illustrate the work.

Keywords: CNC, plasma cutters, guidance, motion transformation tools, stepper motors, drivers, control board, Mach 3.

Résumé

Etude d'un découpeur plasma CNC à trois (03) axes

Le travail présenté dans ce mémoire consiste à traiter les machines CNC, particulièrement les découpeurs plasma. Il s'agit d'une étude et conception d'un découpeur plasma avec une surface de travail de 3000 x 1500 mm. Ce projet est divisé en quatre chapitres qui traitent les différents composants d'une CNC : que ce soit mécanique (châssis, guidage, outils de transformation de mouvements), électronique (moteurs pas à pas, drivers, carte de commande... ainsi que le raccordement de ces composants) et finalement le logiciel informatique (Mach3) permettant la liaison de la machine avec le micro-ordinateur. Les mises en plan sont également fournies afin de mieux illustrer le travail.

Mots clés : CNC, découpeurs plasma, guidage, outils de transformation de mouvement, moteurs pas à pas, drivers, carte de commande, mach 3.

Abstract

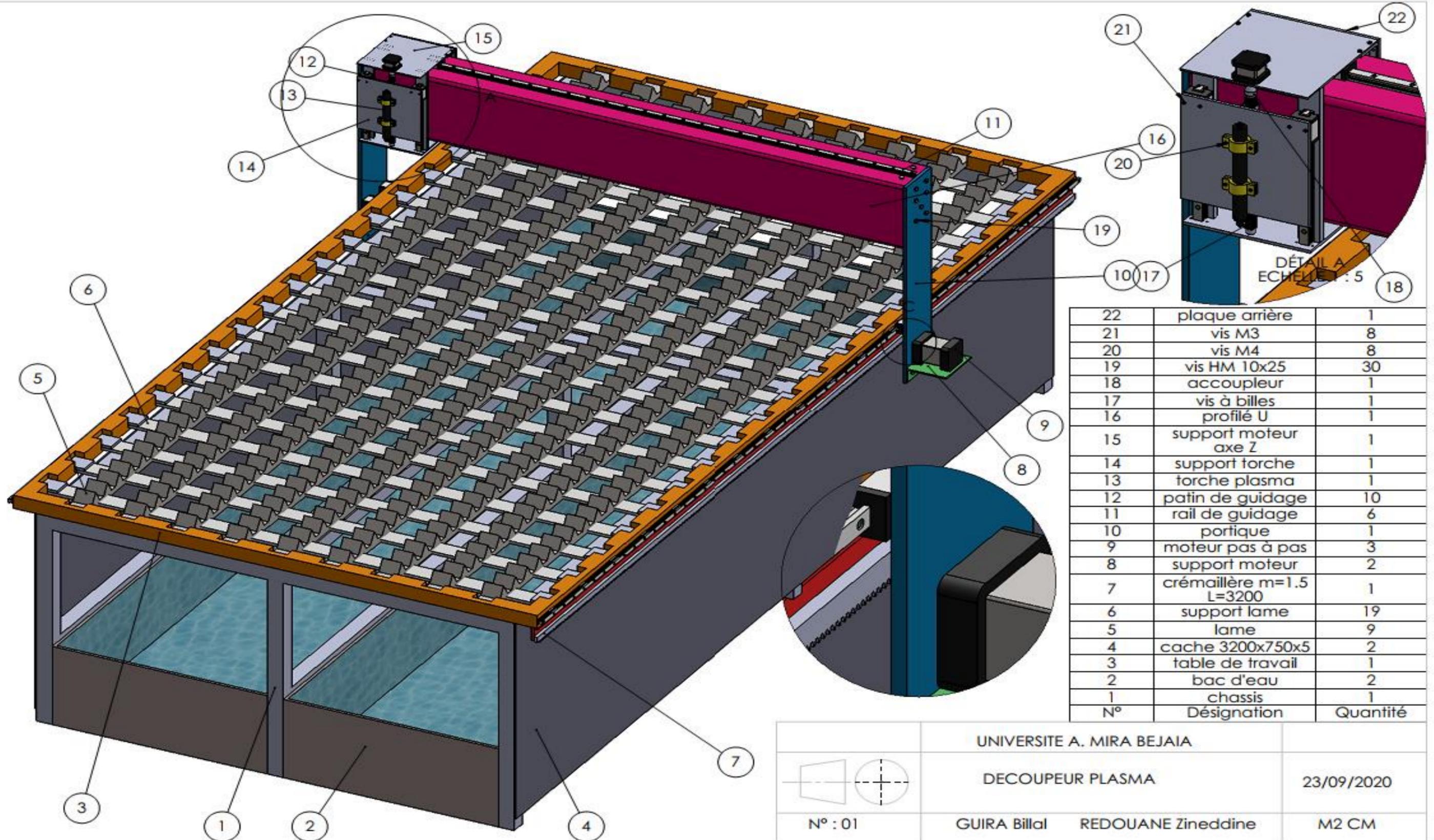
Study of a CNC plasma cutter with three (03) axes

The work presented in this thesis consists in processing CNC machines, particularly plasma cutters. This is a study and design of a plasma cutter with a working surface of 3000 x 1500 mm. This project is divided into four chapters which deal with the different components of a CNC: whether mechanical (frame, guide, motion transformation tools), electronics (stepper motors, drivers, control card ... as well as the connection of these components) and finally the computer software (Mach3) allowing the connection of the machine with the microcomputer. Drawings are also provided to better illustrate the work.

Keywords: CNC, plasma cutters, guidance, motion transformation tools, stepper motors, drivers, control board, mac

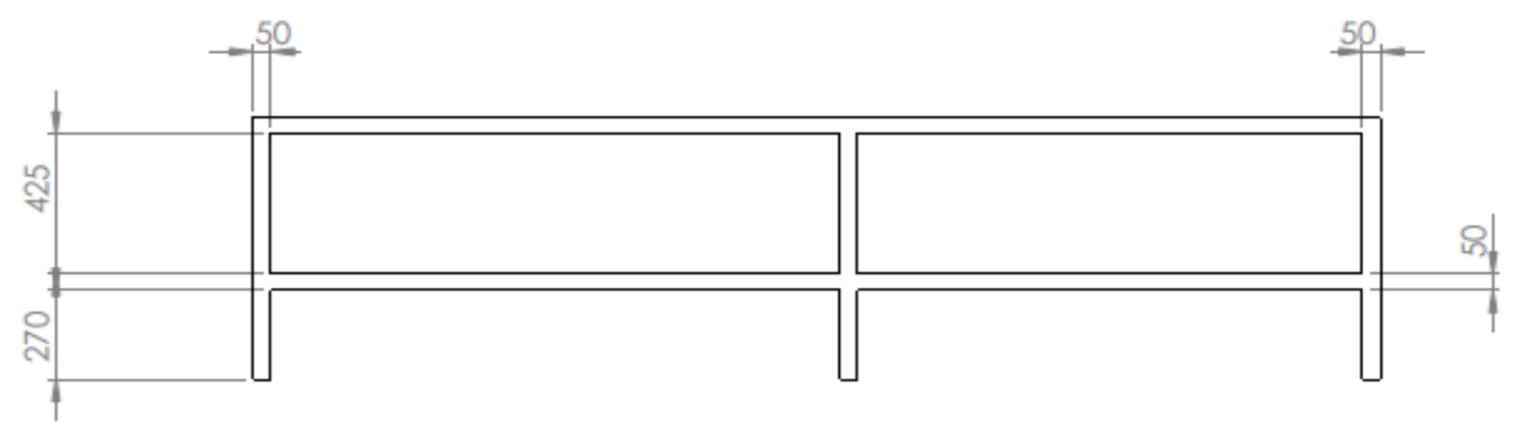
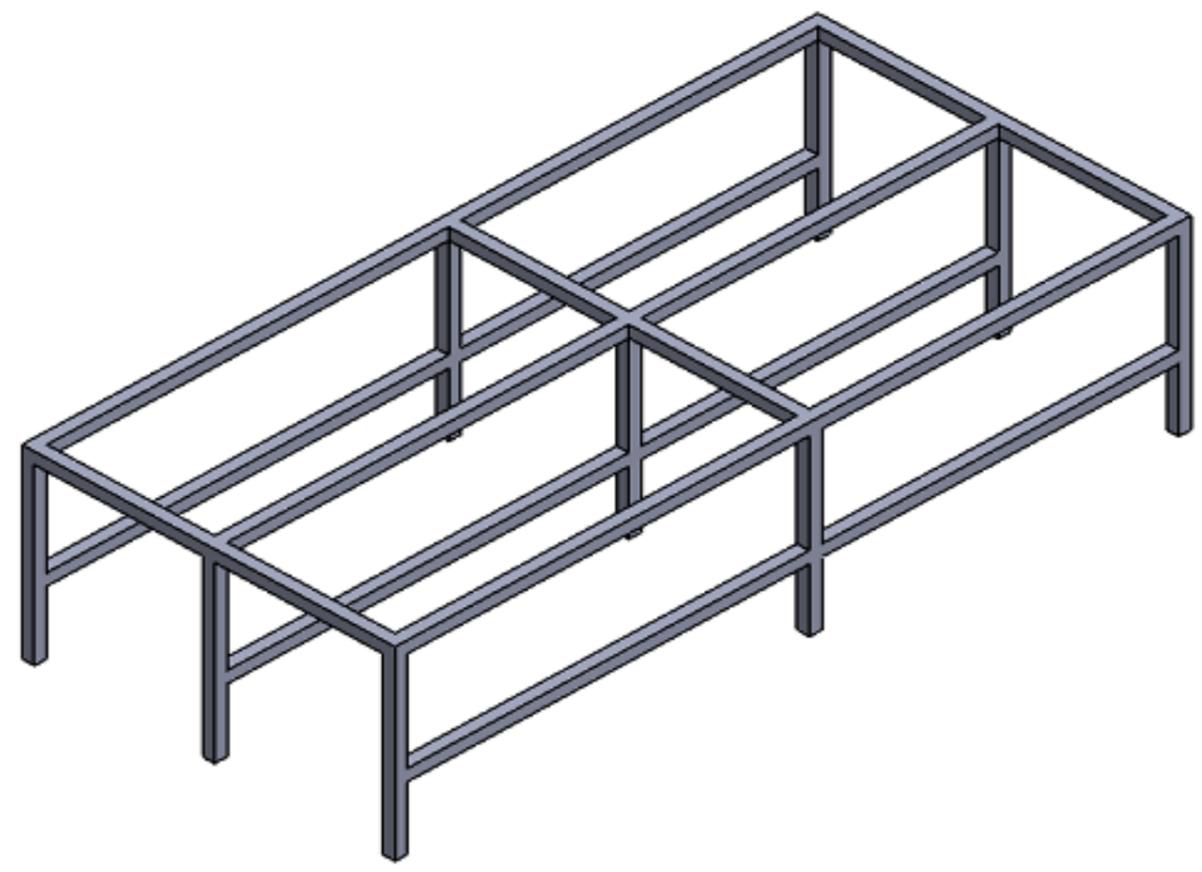
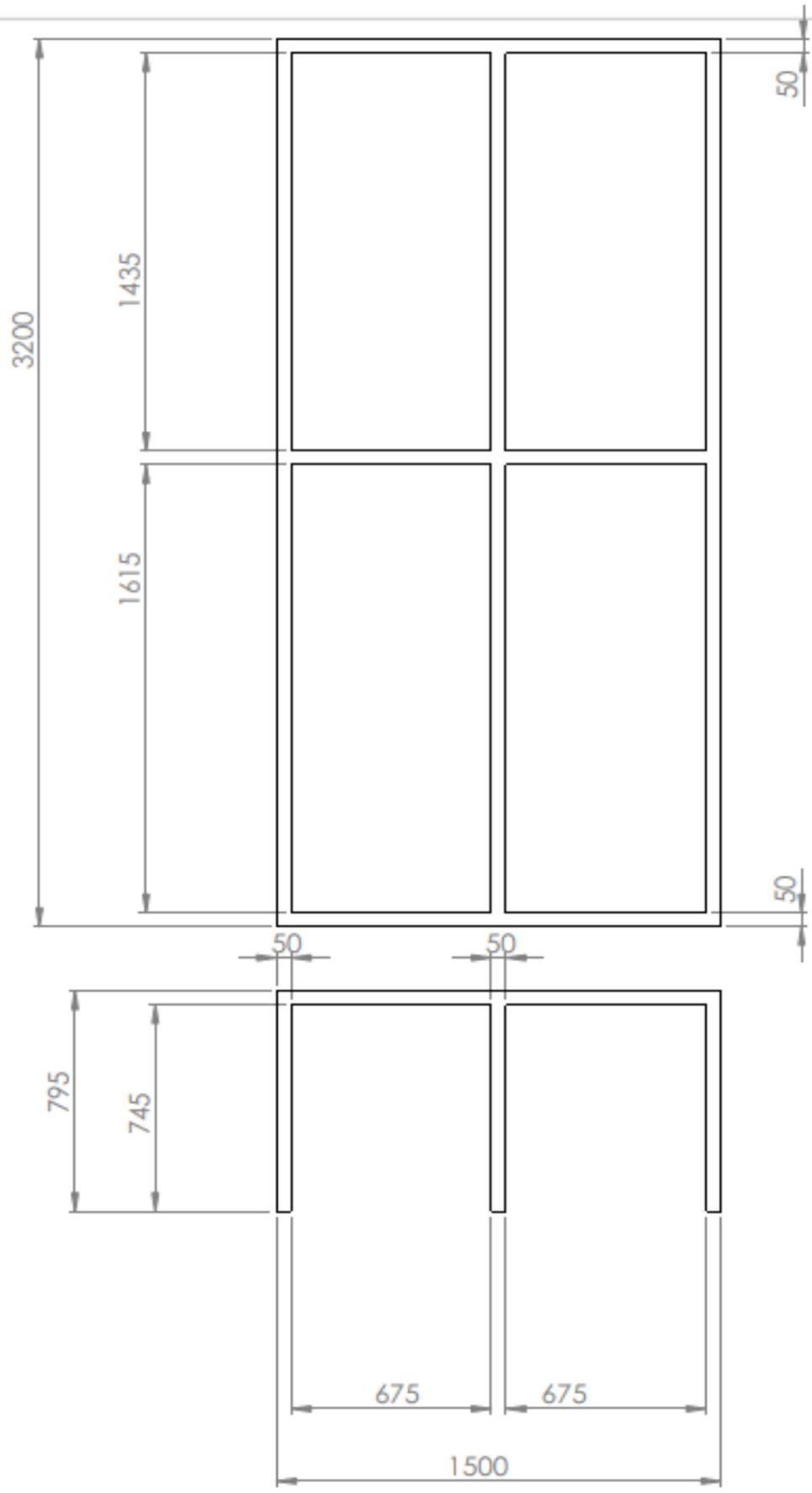
DESSINS DE DEFINITION

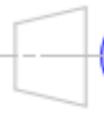
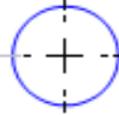
DESSINS de définition

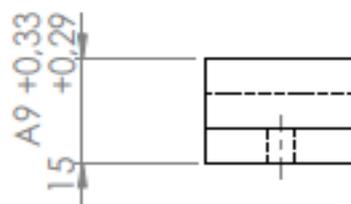
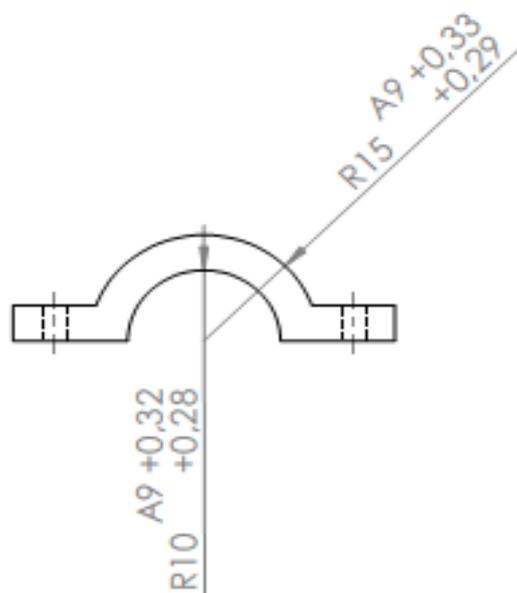
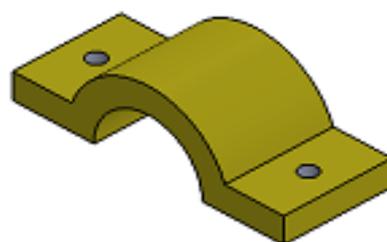
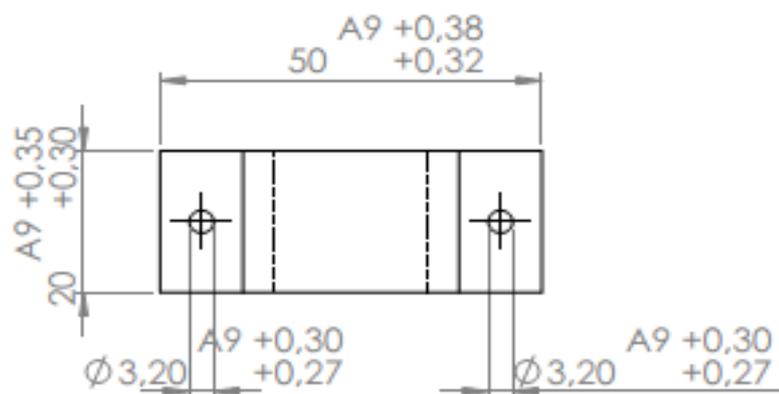


22	plaque arrière	1
21	vis M3	8
20	vis M4	8
19	vis HM 10x25	30
18	accoupler	1
17	vis à billes	1
16	profilé U	1
15	support moteur axe Z	1
14	support torche	1
13	torche plasma	1
12	patin de guidage	10
11	rail de guidage	6
10	portique	1
9	moteur pas à pas support moteur	3
8	support moteur	2
7	crémaillère m=1.5 L=3200	1
6	support lame	19
5	lame	9
4	cache 3200x750x5	2
3	table de travail	1
2	bac d'eau	2
1	chassis	1
N°	Désignation	Quantité

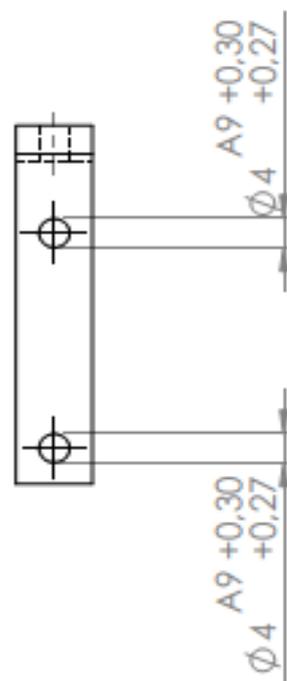
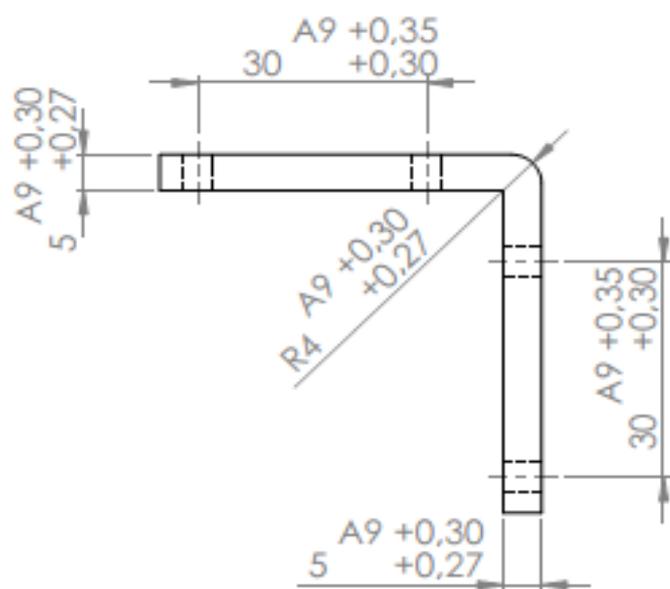
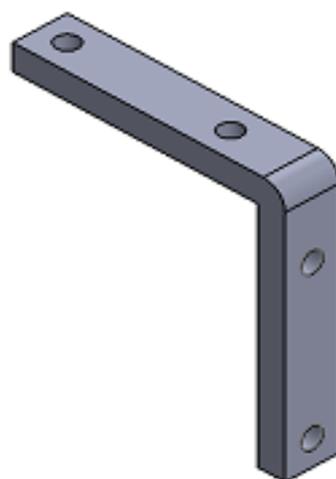
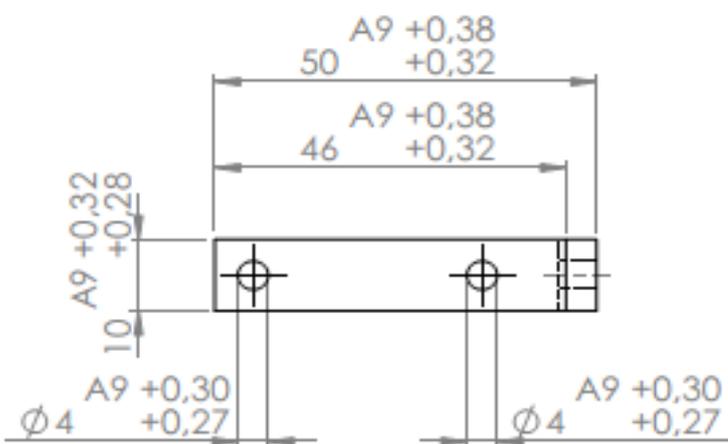
	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	
	DECOUPEUR PLASMA	
N° : 01	GUIRA Billal	REDOUANE Zineddine
		23/09/2020
		M2 CM



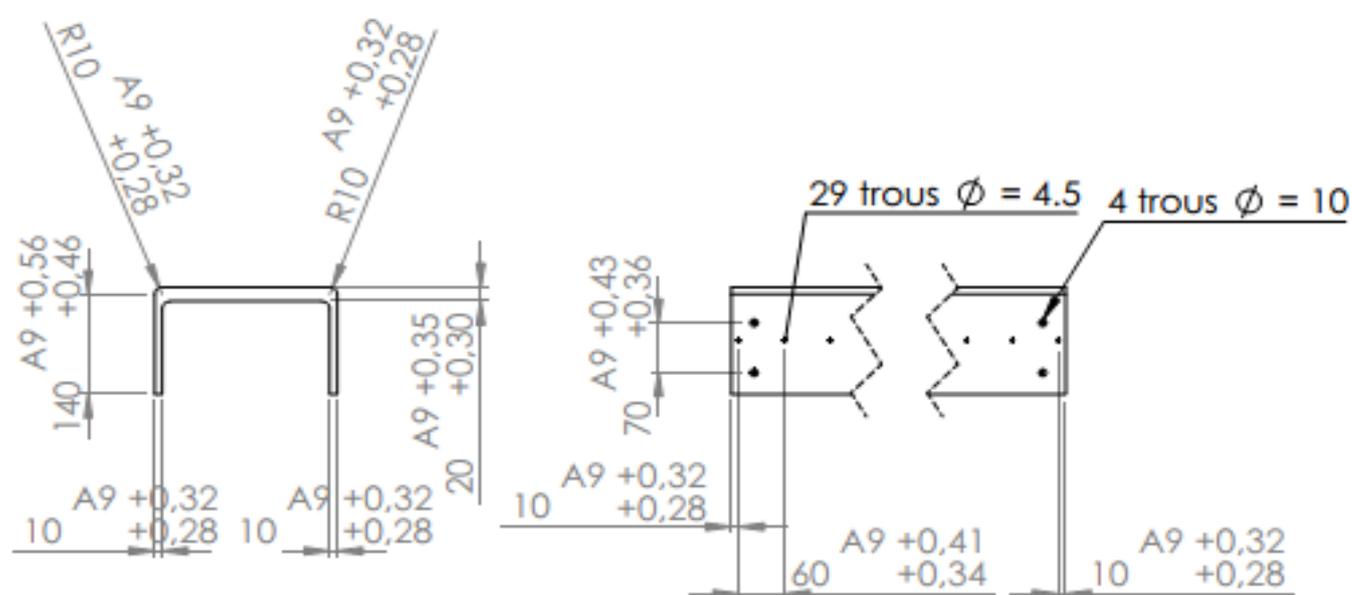
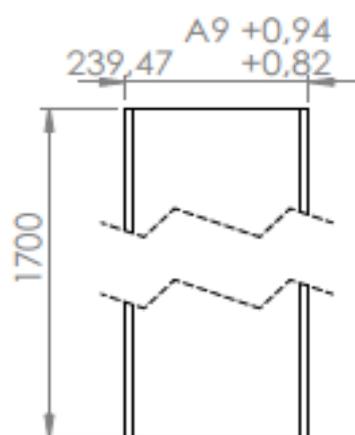
ECHELLE 1:20	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	E335
 	CHASSIS	23/09/2020
N° : 1	GUIRA Billal REDOUANE Zineddine	M2 CM



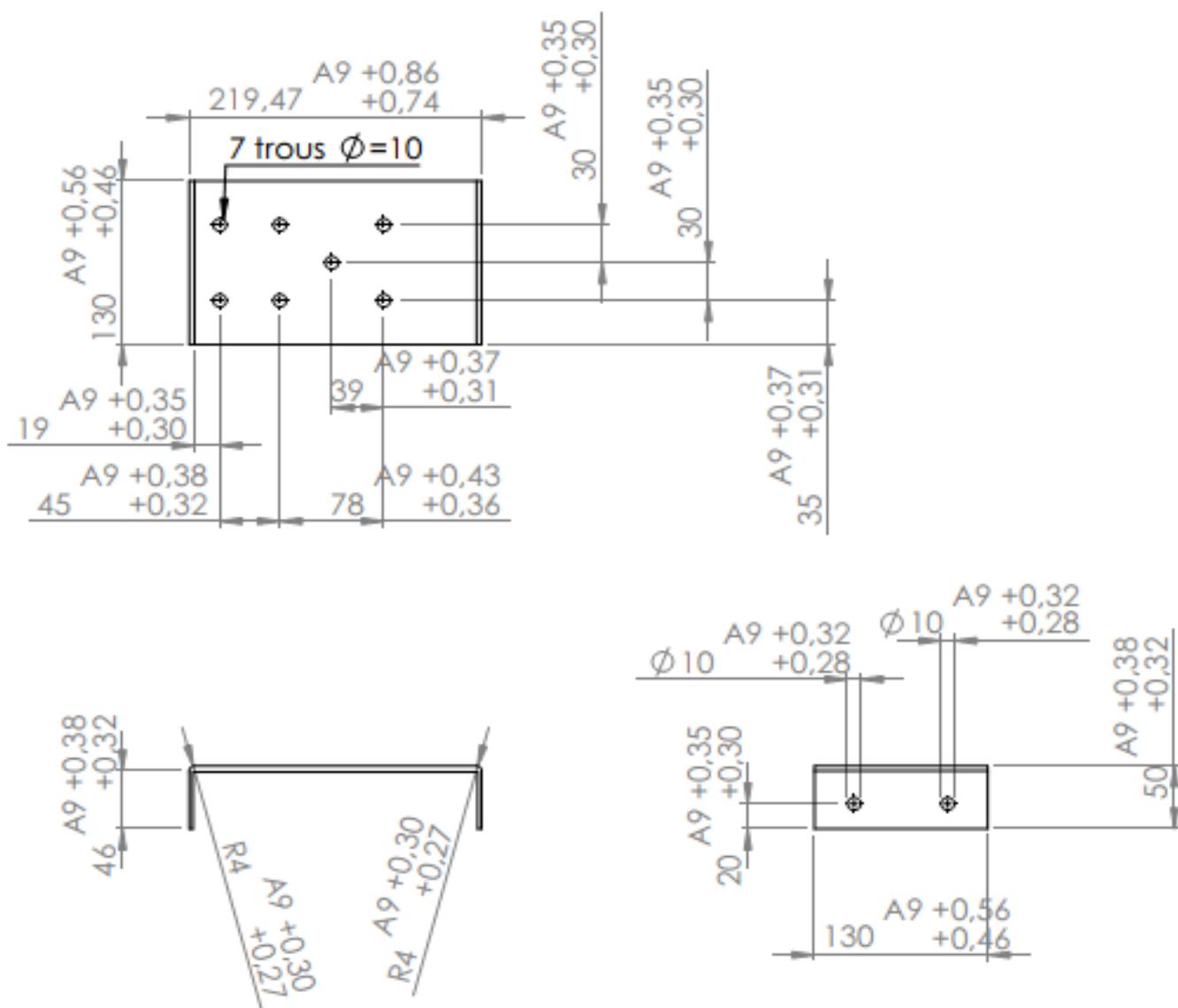
ECHELLE : 1:1	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	nbre 4
	collier de fixation	E335
		23/09/2020
N° : 23	GUIRA Billal REDOUANE Zineddine	M2 CM



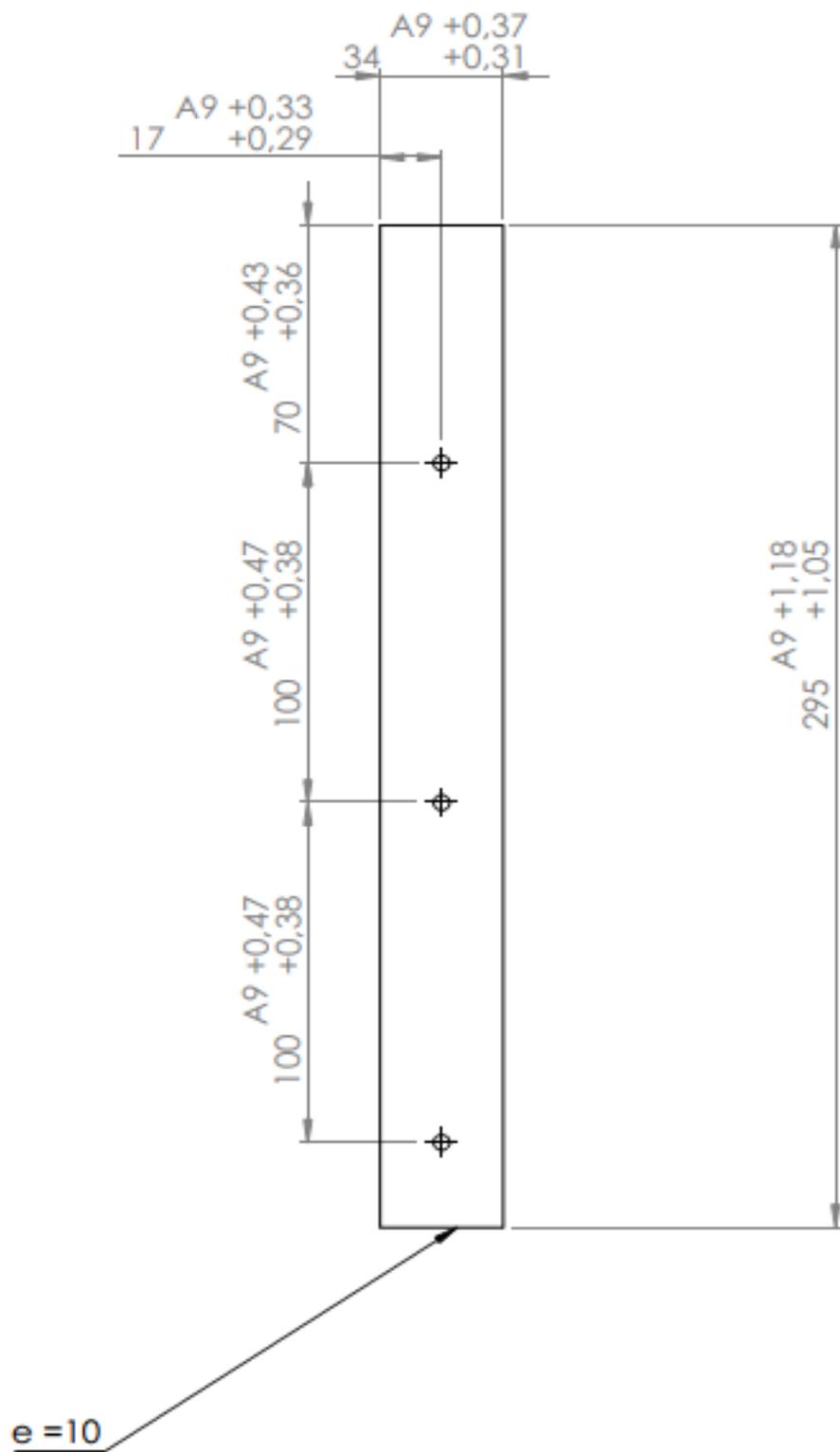
ECHELLE: 1:1	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	nbre : 4
	Cornière de fixation	E335
		23/09/2020
N° : 24	GUIRA Billal REDOUANE Zineddine	M2 CM



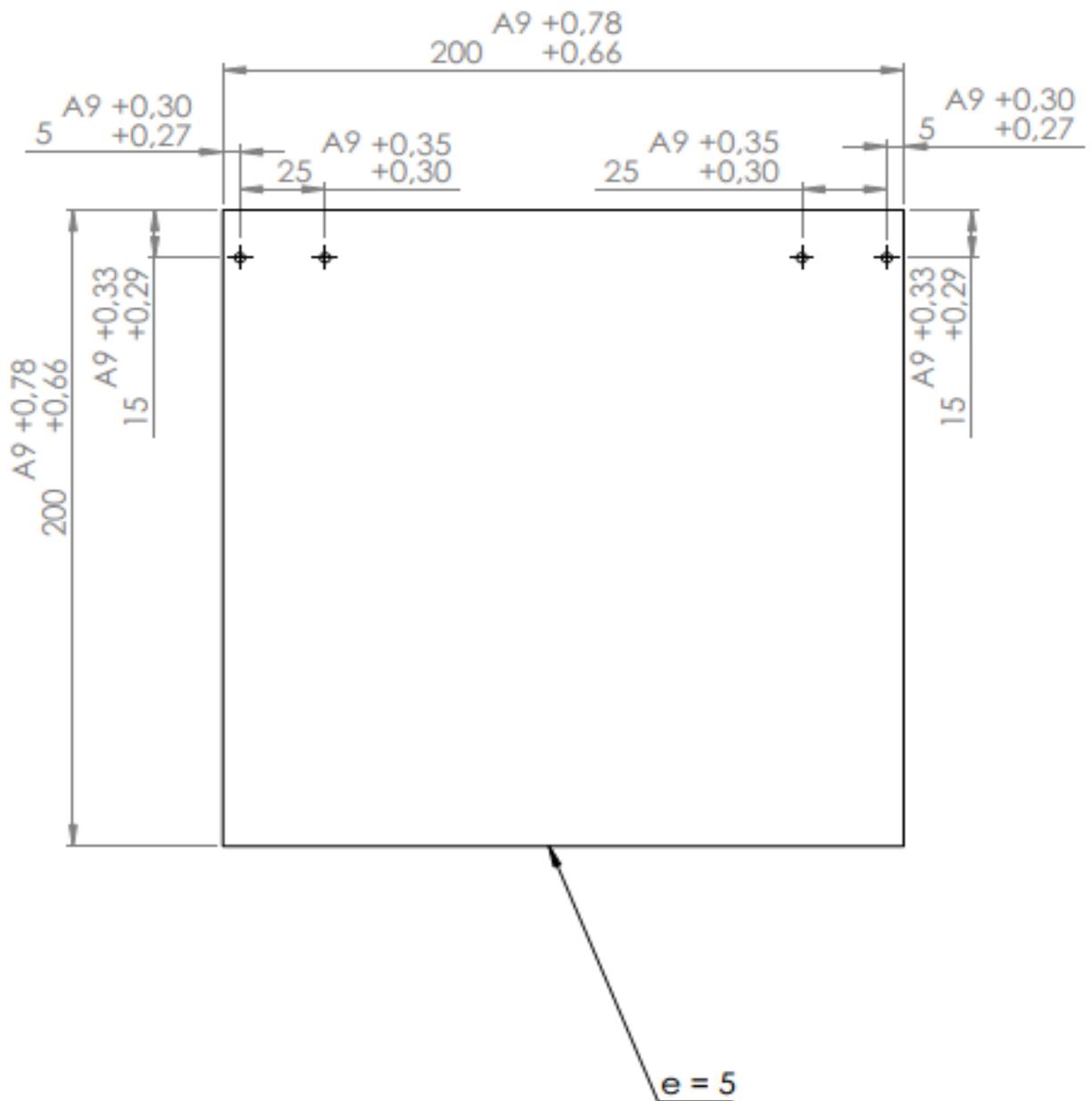
ECHELLE 1: 10	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	nbre : 1
	Profilé U 1700 x 239.47 x 140	E335
		23/09/2020
N° : 16	GUIRA Billal REDOUANE Zineddine	M2 CM



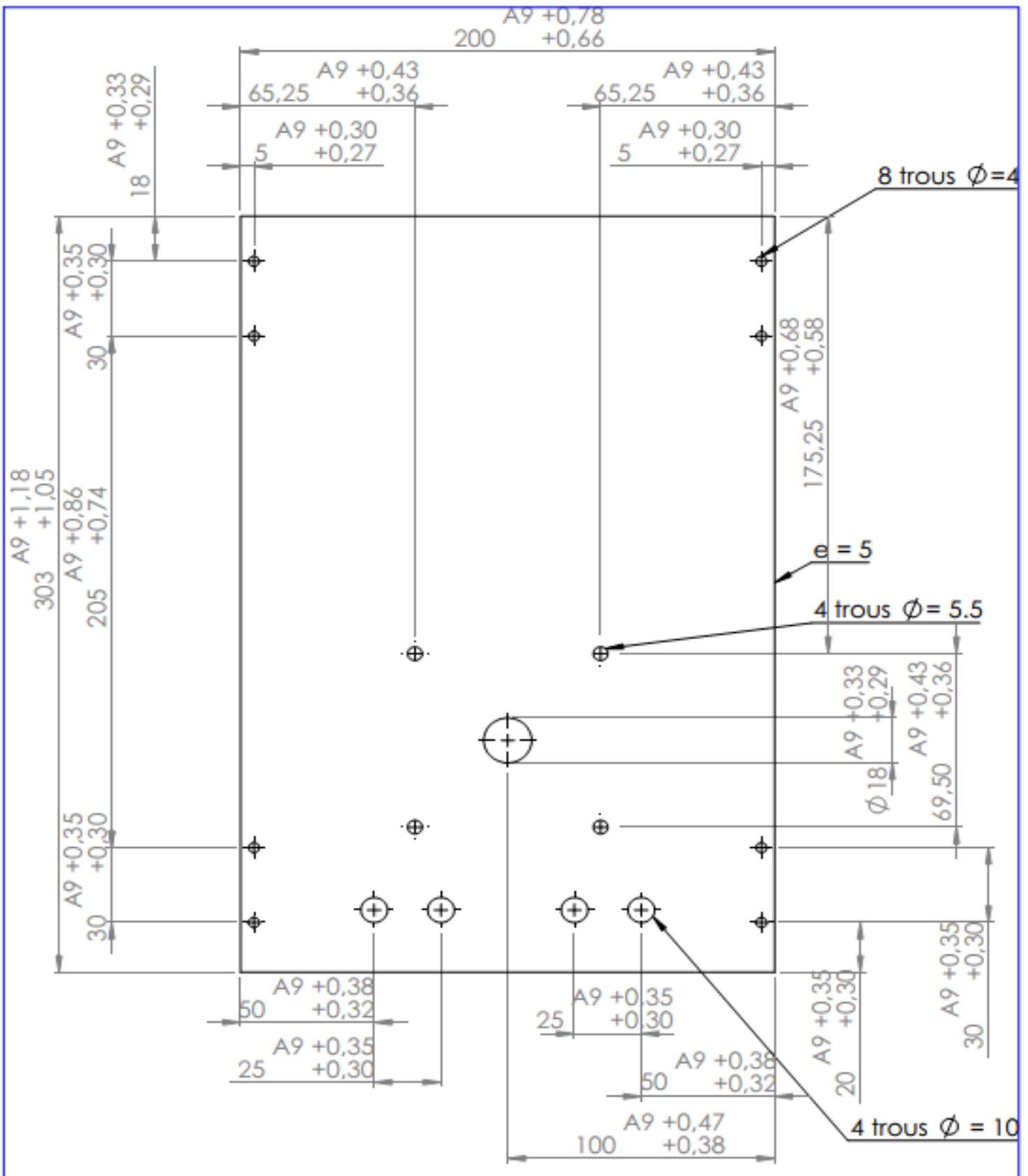
ECHELLE 1 :5	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	nbre : 2
	Profilé u 219,47x130x50	E335
		23/09/2020
N° : 25	GUIRA Billal REDOUANE Zineddine	M2 CM



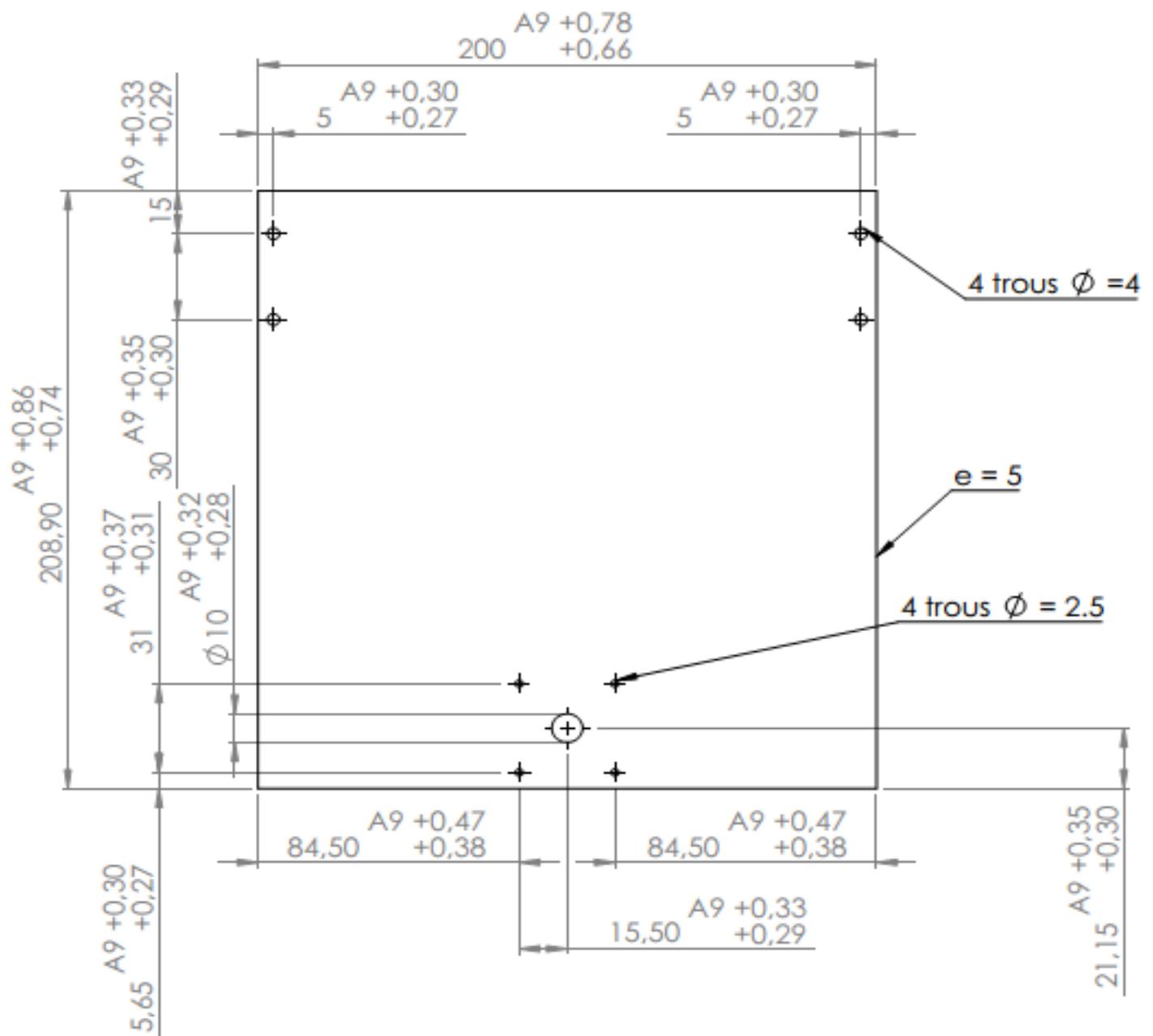
ECHELLE 1:2	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	nbre : 2
	Support rail Axe Z	E335
		23/09/2020
N° : 28	GUIRA Billal REDOUANE Zineddine	M2 CM



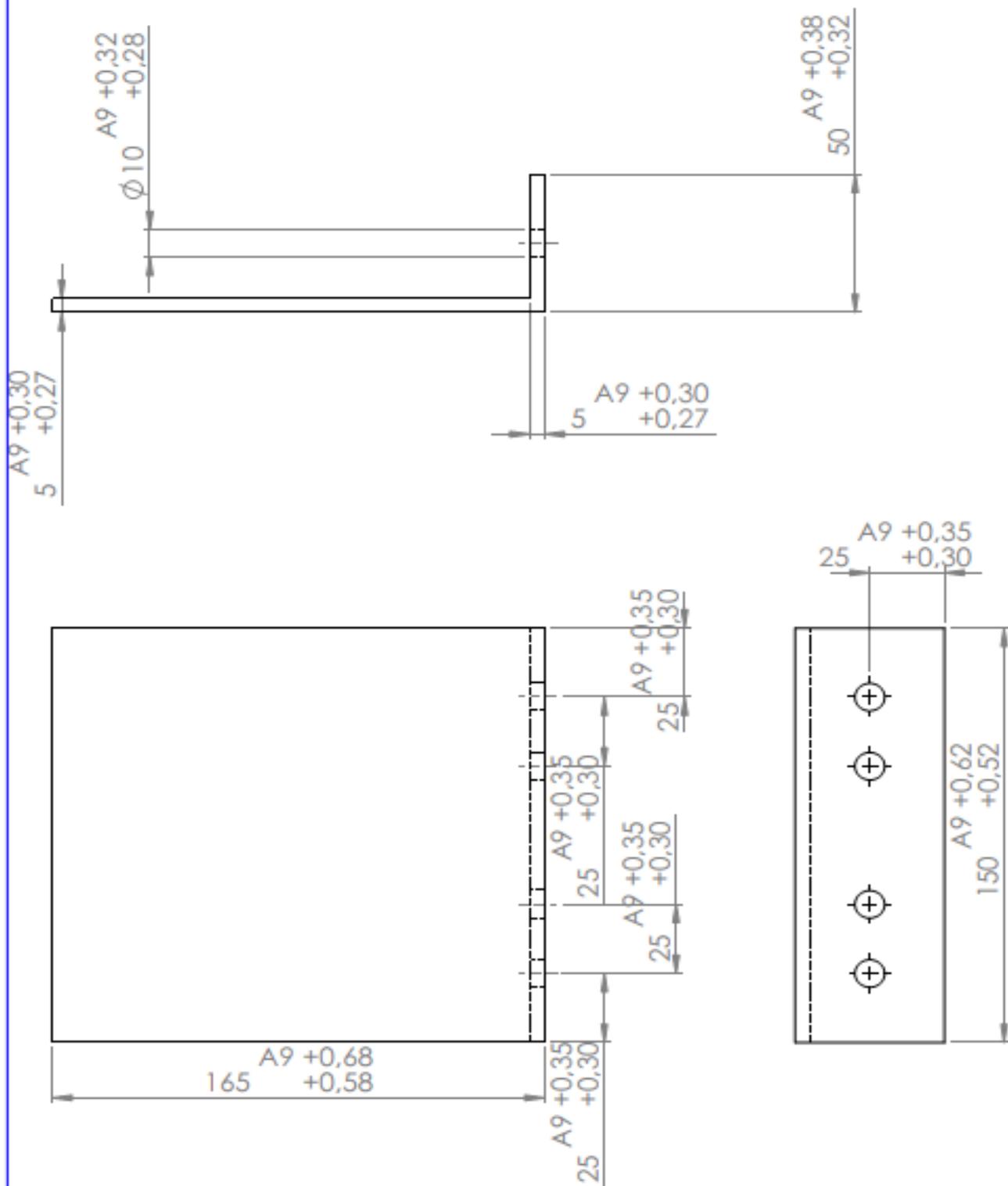
ECHELLE 1:2	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	nbre :1
	Support torche	E335
		23/09/2020
N° : 14	GUIRA Billal REDOUANE Zineddine	M2 CM



ECHELLE 1:2	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	nbre :1
	plaque arrière	E335
		23/09/2020
N° :22	GUIRA Billal REDOUANE Zineddine	M2 CM



ECHELLE 1:2	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	nbre :1
	Support moteur axe Z	E335
		23/09/2020
N° : 15	GUIRA Billal REDOUANE Zineddine	M2 CM



ECHELLE 1:2	UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA	nbre :2
	support moteur	E335
		23/09/2020
N°: 8	GUIRA Billal REDOUANE Zineddine	M2 CM