



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
Faculté de Technologie
Mémoire de Fin d'Étude



En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème :

Étude et conception d'une machine CNC

Réalisé par ::

1. **ARID Mohammed Seghir**
2. **GHEDEIR Ibrahim Abderrahmane**
3. **MANSOUR Ramzi**

Devant le jury :	
Dr .BERKAN HOUDA	Président
Dr . MANSOURI KHALED	Examineur
Dr . MEZIAN ASSIA	Encadreur

Année universitaire : 2024/2025

Remercîments

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à **Dieu Tout-Puissant** qui nous a donné la force, la patience et la volonté d'achever ce mémoire.

Nos remerciements les plus distingués s'adressent à notre encadrante **Dr. MEZIANE Assia**, pour son orientation précieuse, son suivi constant et ses conseils avisés qui ont fortement contribué à la réalisation de ce travail.

Nous remercions également l'ensemble des membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques et suggestions enrichissantes.

Nos pensées reconnaissantes vont aussi à tous nos enseignants du **Département de Génie Mécanique – Faculté de Technologie, Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued**, pour la qualité de leur enseignement et leur soutien académique durant notre parcours universitaire.

Enfin, nous adressons notre profonde gratitude à nos familles et amis pour leur encouragement, leur patience et leur soutien moral, sans lesquels ce travail n'aurait pas pu voir le jour.

Abstract :

This work focuses on the design of a three-axis CNC milling machine using SolidWorks, with particular emphasis on the selection of mechanical and electronic components. It also investigates the impact of thermal and dynamic factors on machining accuracy, highlighting the importance of optimal design to ensure rigidity, repeatability, and quality. The research represents an initial step towards the development of more advanced models based on simulation and intelligent control.

Keywords: CNC, mechanical design, SolidWorks, accuracy, dynamics and thermal effects.

Résumé:

Ce travail porte sur la conception d'une fraiseuse CNC à trois axes à l'aide du logiciel SolidWorks, en mettant l'accent sur le choix des composants mécaniques et électroniques. Il étudie également l'influence des facteurs thermiques et dynamiques sur la précision d'usinage, en soulignant l'importance d'un design optimal garantissant rigidité, répétabilité et qualité. Cette recherche représente une première étape vers le développement de modèles plus avancés basés sur la simulation et le contrôle intelligent.

Mots-clés : CNC, conception mécanique, SolidWorks, précision, dynamique et thermique.

الملخص:

يتناول هذا العمل تصميم آلة تقريز CNC ثلاثية المحاور عبر برنامج SolidWorks، مع التركيز على اختبار المكونات الميكانيكية والإلكترونية. كما يدرس تأثير العوامل الحرارية والديناميكية على دقة التشغيل، مبرزاً أهمية التصميم الأمثل لضمان الصلابة، التكرارية والجودة. ويمثل البحث خطوة أولية نحو تطوير نماذج أكثر تقدماً تعتمد على المحاكاة والتحكم الذكي.

الكلمات المفتاحية: CNC، تصميم ميكانيكي، SolidWorks، دقة، ديناميكا وحرارة.

Sommaire

Remercîments	2
Abstract :	3
Sommaire	4
Liste des Figures.....	8
Introduction générale	1
Chapitre I : Etat de l'art.....	3
<i>1-Historique d'une machine CNC:</i>	<i>4</i>
<i>2-Types d'une machine CNC:.....</i>	<i>6</i>
A/Fraiseuses CNC (CNC Milling Machines):	6
B/Tours CNC (CNCLathes):.....	6
C/ Découpeuses laser CNC (CNC Laser Cutters):.....	7
D/ Découpeuses plasma CNC (CNC Plasma Cutters):	7
E/ Découpeuses à jet d'eau CNC (CNC Waterjet Cutters):	8
F/ Machines à décharge électrique CNC (CNC EDM - ElectricalDischargeMachining):	8
G/ Imprimantes 3D CNC (CNC 3D Printers):	9
H/ Routers CNC (CNC Routers):.....	9
I/ Machines de poinçonnage CNC (CNC Punching Machines):.....	10
<i>3- Technologies actuelles utilisées dans la fabrication CN:</i>	<i>10</i>
1- Découpe plasma:.....	10
2-Découpe Laser CNC:	11
3. Découpeurs au jet d'eau:	11
4. EDM à plomb:.....	11
5-Marqueurs d'épingles flexibles à main DIY:	13
<i>4/Analyse des machines CNC existantes sur le marché:</i>	<i>13</i>
ChapitrII : Conception de la machine CNC	14
<i>1-Definition d'une machine cncfraiseuse:</i>	<i>15</i>
1.2-Types de fraiseuses CNC:.....	16
1.2. 1 Fraiseuse verticale:.....	16
1.2.2 Fraiseuse horizontale:.....	16
1.2.3 Fraiseuse CNC multiaxes:.....	17

1.2.4 Fraiseuse à tourelle:.....	17
<i>3-Matériaux et méthodes de construction:</i>	<i>18</i>
3.1/Matériaux:	18
3.1.1. Fonctions partielles (Fonctions spécifiques):.....	18
3.1.2. Charge de contrainte (Résistance aux contraintes):	18
3.1.3. Tolérance dimensionnelle:	18
3.1.4. Température de fonctionnement:	18
3.1.5. Coût:.....	18
3.2/Méthode:	19
3.2.1. Méthodes de travail générales:.....	19
3.2.2. Méthodes de programmation:	19
<i>4/Design de la machine:.....</i>	<i>19</i>
4.1 Partie mécanique:	19
4.1.1Profil V-SLOT:	19
4.1.2 Tige pleine:.....	20
4.1.3.Roulements linéaires:	20
4.1.4 Tige filetée:	21
4.1.5 Écrou	21
4.1.6 Équerre de fixation.....	22
4.1.7Accouplement	22
4.2.Partie électronique:.....	23
4.2.1 Microcontrôleur:	23
4.2.2.Les moteurs:	24
4.2.3.Adaptateurs de drivers.....	24
4.2.4.Capteur de fin de course:.....	25
4.2.5. La broche:.....	26
4.2.6.Alimentation:.....	27
<i>5.Type de moteurs (pas à pas, servo, linéaires):</i>	<i>27</i>
5.1Moteurs pas à pas:	27
5.1.1 types moteurs pas à pas :.....	28
5.2.Servomoteur:	29
5.3.Moteurs linéaires:.....	30
<i>6/Système de transmission (courroies, vis à billes):</i>	<i>31</i>

6.1.Transmission à vis à billes:	31
6.1.1.Structure :	31
6.1.2.Principe de fonctionnement :	31
6.1.3.Avantages :	31
6.1.4.Applications :	32
6.2/Transmission par courroie:.....	32
6.2.1.Structure du système :	32
6.2.2 Principe de fonctionnement :	32
6.2.3.Avantages du système :	33
6.2.4Applications :	33
7.choix du contrôleur (logiciel):	33
7.1.fusion 360:.....	33
7.2. CAO gratuite:	34
7.3. SOLIDWORKS:	35
7.4.G-Code:	35
ChapitrIII:	36
conception machine fraiseuse CNC a trois axes X Y Z.	36
Introduction:.....	37
Cahier de charge:	37
Système de guidage:	37
2-système de transmission	38
Système de mouvement :	39
<i>Le moteur:</i>	<i>39</i>
Système de fixation.....	39
Accouplement:	40
la broche:	40
La conception de Solidworks s'effectue en trois étapes:	41
<i>La première étape:</i>	<i>41</i>
<i>la deuxième étape:</i>	<i>41</i>
<i>Troisième étape:</i>	<i>41</i>
<i>Calcul du centre de gravité de CNC:</i>	<i>42</i>
<i>Centre de gravité de la masse :</i>	<i>42</i>

ChapitrIV:Impact des facteurs dynamiques et thermiques sur les performances de la f CNC	75
<i>1.Thermique, Dynamique et Vibratoire d'une Fraiseuse CNC:</i>	<i>76</i>
1.1. Lois thermiques dans une machine CNC:	76
1.1.1.Causes de l'élévation de la température :	76
1.1.2.Formule de la chaleur générée par le processus d'usinage :	76
1.1.2. Conséquences :	76
1.2. Lois de la vitesse dans une machine CNC:	76
1.2.1 Vitesse de broche :	76
1.2.2.vitessed une machine :	76
1.3. Lois des vibrations dans une machine CNC:	77
1.3.1.Fréquence naturelle :	77
1.3.2.Analyse :	77
Conclusion Générale	78
Références bibliographiques	80

Liste des Figures

Figure 1: Première machine fraiseuse cnc[2]	4
Figure 2 : Développer une machine cnc [2]	5
Figure 3 : Fraiseuses CNC[18]	6
Figure 4 : Tours CNC[11]	7
Figure 5 : Découpeuses laser CNC[12]	7
Figure 6 : Découpeuses plasma CNC[13]	8
Figure 7 : Découpeuses à jet d'eau CNC[14]	8
Figure 8 : Machines à décharge électrique[15]	9
Figure 9 : Imprimantes 3D CNC[16]	9
Figure 10 : RoutersCNC[17]	9
Figure 11 : Machines de poinçonnage CNC[19]	10
Figure 12 : machine cnc	15
Figure 13 : Fraiseuse verticale.....	16
Figure 14 : Fraiseuse horizontale	16
Figure 15 : Fraiseuse CNC 4 axes	17
Figure 16 : fraiseuse à 5 axes	17
Figure 18 : Tige pleine [22]	20
Figure 19 : Roulements linéaires avec billes [23]	20
Figure 20 : Roulements linéaires en plastique [24]	21
Figure 21 : Tige filetée [25]	21
Figure 22 : Écrou [26]	22
Figure 23 : Équerre de fixation [27]	22
Figure 24 : Accouplement [28]	22
Figure 25 : microcontrôleur Atmel[20]	23
Figure 26 : CNC shield V3[20]	25
Figure 27 : capteur de fin course mécanique[20]	25
Figure 28 : Constitution d'une machine à courant continue[20]	26
Figure 29 : Alimentation	27
Figure 30 : Driver de moteur pas à pas model A4988[20]	27
Figure 31 : moteur Bipolaire [9]	28
Figure 32 : moteurs unipolaires [9]	28

Figure 33 : Servo moteur [29].....	29
Figure 34 : Moteurs linéaires[30]	30
Figure 35 : vis à billes [31]	31
Figure 36 : courroie [31]	32
Figure 37 : slogan fusion 360[2].....	34
Figure 38 : slogan CAO[2]	34
Figure 39 : slogan solidworks[2].....	35
Figure 40: .guidage.....	40
Figure 41:transmission.....	40
Figure 42:.Le moteur	41
Figure 43:fixation.....	42
Figure 44.:Accouplement	42
Figure 45:la broche	43
Figure 46:centre de gravité table avant	44
Figure 47:centre de gravité table arriere	44
Figure 48 :les dimension de la machine.....	45
Figure 49 :Machine CNC fraiseuse 3 Axe.....	46
Figure 50:composants CNC.....	47
Figure 51:composants CNC.....	48
Figure 52 :axe de guidage	<u>50</u>
Figure 53:Ecrou de fixation.....	51
Figure 54 :baugue de fixation.....	52
Figure 55 :vie spirale X	53
Figure 56 :tube rectangulaire.....	54
Figure 57 :fand support moteur3	55
Figure 58:support moteur2.....	56
Figure 59 :bauge guidageM2.....	57
Figure 60 :roulement cylindre	58
Figure 61 :roulement	59
Figure 62 :support horizontal.....	60
Figure 63 :axe de guidage Y.....	61
Figure 64 :bague centrage vis Y.....	62
Figure 65:bague centrage bronze axe X.....	63
Figure 66 :axe gudage axe M3.....	64

Figure 67: vis spirale axe Z.....	65
Figure 68 :boulon de fixation.....	66
Figure 69:crou branze M3.....	67
Figure 70 :vis spiral axe X.....	68
Figure 71 :cylindre support M2.....	69
Figure 72 :Ecrou vis Y.....	70
Figure 73 :table cnc	71
Figure 74:coin M3.....	72
Figure 75 :boulon fixation de raccord	73
Figure 76 :assemblage moteur pas a pas.....	74
Figure 77 :spindle	75
Figure 75 :socle machine.....	76

Introduction générale

Le secteur industriel au cours des dernières décennies a connu un développement notable dans divers domaines, sous l'effet des progrès technologiques et de l'augmentation des exigences du marché en matière de qualité, précision et productivité. Dans ce contexte, les techniques de commande numérique par ordinateur (CNC) se sont imposées comme l'une des transformations technologiques les plus importantes dans le domaine de la fabrication, offrant des possibilités élevées permettant d'exécuter des opérations complexes avec une précision extrême et une vitesse remarquable, tout en assurant la répétabilité et la qualité du produit final.

L'intégration des systèmes informatiques dans le contrôle des machines a contribué à une transformation qualitative des méthodes de production traditionnelles, en réduisant l'intervention humaine dans les processus précis et complexes, ce qui a eu un impact positif sur la réduction des erreurs, l'amélioration des conditions de sécurité professionnels et l'augmentation de l'efficacité opérationnelle au sein des unités industrielles. Les machines CNC constituent aujourd'hui un élément essentiel dans de nombreux secteurs critiques, tels que l'automobile, l'aéronautique, les moules de formage, l'industrie du bois et l'électronique, entre autres industries qui exigent une grande précision et une fiabilité élevée.

Cette note a pour objectif de présenter une étude analytique et complète sur la technologie de la commande numérique par ordinateur, en abordant les principes de base du fonctionnement de ces machines, leurs principaux composants, leurs différents types et les mécanismes de programmation en utilisant le langage G-code. Elle vise également à mettre en évidence les applications pratiques de cette technologie dans un environnement industriel réel, en mettant l'accent sur les aspects techniques qui permettront à l'étudiant d'acquérir une connaissance approfondie et la capacité d'interagir avec les exigences du marché du travail dans le domaine des systèmes de fabrication modernes.

Chapitre I : Etat de l'art

1-Historique d'une machine CNC :

La première machine CNC a été attribuée à James Parsons en 1949. Parsons était un pionnier de l'informatique qui a travaillé sur un projet de recherche de l'Air Force. La recherche portait sur la façon de produire des pales d'hélicoptère et une meilleure peau d'avion.[5]

Parsons a pu calculer les coordonnées du profil aérodynamique de l'hélicoptère avec un multiplicateur IBM 602A. Il a ensuite introduit les données dans une carte perforée, qu'il a utilisée sur une perceuse suisse. Ces informations ont conduit à la fabrication de nombreuses pales d'hélicoptères et de peaux d'avions. Selon l'historique CNC accepté, cela a été considéré comme la première machine CNC. Parson recevra plus tard les Joseph Maria Jacquard Memorial Awards pour son travail.[5]

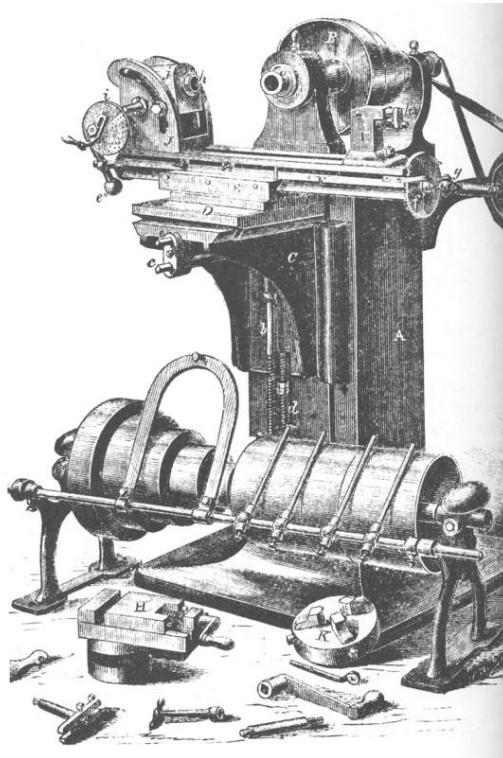


Figure 1: Première machine fraiseuse cnc[2]

❖ Les différentes étapes de développement de la CN sont les suivantes:

En 1959, la technologie de la commande numérique a été introduite en Europe lors du salon de Hanovre, où le Massachusetts Institute of Technology (MIT) a annoncé le développement du langage de programmation APT (Automatic Programmed Tools). Un an plus tard, le système DNC (Direct Numerical Control) est apparu, marquant une avancée significative dans le domaine de la fabrication numérique.

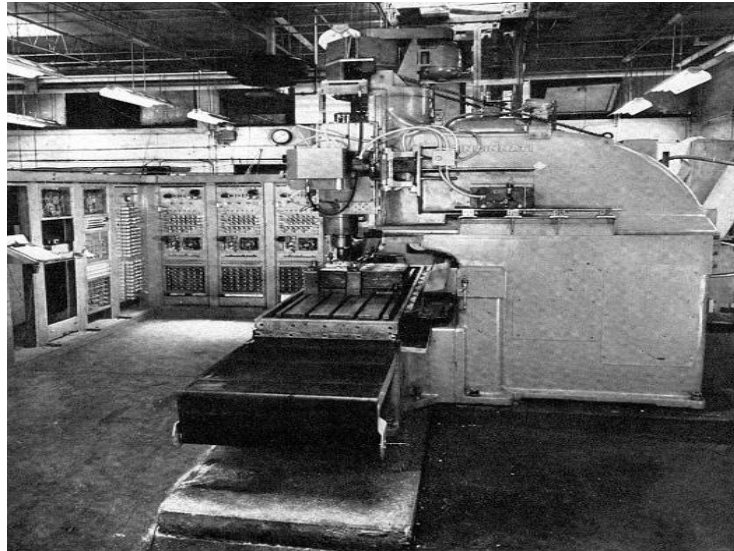


Figure 2 : Développer une machine cnc [2]

En France, l'année 1964 a vu le lancement du système de commande numérique NUM 100 par la société Télémécanique Électrique, basé sur la technologie de relais téléstatique. En 1968, l'intégration des circuits intégrés dans les systèmes de commande numérique a permis de réduire leur taille et d'augmenter leur efficacité. La même année, la société Kearney & Trecker aux États-Unis a commercialisé le premier centre d'usinage numérique.

En 1972, la logique programmée a été remplacée par des systèmes basés sur des mini-ordinateurs (Minicomputers), entraînant ainsi la transition de la commande numérique vers la commande numérique par ordinateur (CNC). L'évolution s'est poursuivie en 1976 avec l'utilisation de microprocesseurs dans les systèmes CNC, améliorant ainsi leur performance et leur efficacité.

En 1984, la technologie a progressé dans les domaines des graphismes interactifs et des méthodes de programmation conversationnelle, ouvrant ainsi la voie à l'ère de la fabrication assistée par ordinateur (FAO - Fabrication Assistée par Ordinateur). En 1986, l'intégration des systèmes de commande numérique aux réseaux de communication a conduit à l'émergence du concept de fabrication intégrée par ordinateur (CIM - Computer Integrated Manufacturing).

L'évolution s'est poursuivie en 1990 avec le développement de systèmes de commande numérique basés sur des microprocesseurs à architecture 32 bits, offrant ainsi une puissance de calcul accrue et des performances améliorées dans les opérations d'usinage numérique.[5]

2-Types d'une machine CNC :

Les machines à commande numérique sont conçues pour fabriquer une variété d'éléments et effectuer des fonctions spécifiques, de sorte qu'il existe plusieurs types différents:

A/Fraiseuses CNC (CNC Milling Machines):

Le fraisage CNC est le type de machines CNC le plus courant elle est utilisée pour :

- couper et façonner des matériaux à l'aide d'outils rotatifs.
- Elle peut traiter une large gamme de matériaux tels que les métaux, les plastiques et le bois.
- Elle est utilisée dans la fabrication de moules et de pièces mécaniques.[1]



Figure 3 : Fraiseuses CNC[18]

B/Tours CNC (CNCLathes):

- Elle est utilisée pour faire tourner et façonner les matériaux à l'aide d'outils de coupe fixes.
- Elle est adaptée à la fabrication de pièces cylindriques ou coniques.
- Elle est utilisée dans la fabrication d'arbres, de boulons et d'écrous.[1]



Figure 4 : Tours CNC[11]

C/ Découpeuses laser CNC (CNC Laser Cutters):

- Utilisent un faisceau laser pour découper ou graver des matériaux avec une grande précision.
- Utilisées avec des métaux, des plastiques, du bois et des textiles.
- Courantes dans l'industrie de la publicité et de la décoration.[1]



Figure 5 : Découpeuses laser CNC[12]

D/ Découpeuses plasma CNC (CNC Plasma Cutters):

- Utilisent un jet de plasma pour découper des matériaux métalliques.
- Adaptées pour la découpe de tôles métalliques épaisses.
- Utilisées dans la fabrication de structures métalliques et de grandes pièces.[1]



Figure 6 : Découpeuses plasma CNC[13]

E/ Découpeuses à jet d'eau CNC (CNC Waterjet Cutters):

- Utilisent un jet d'eau à haute pression, parfois mélangé à des abrasifs, pour découper des matériaux.
- Adaptées pour la découpe d'une large gamme de matériaux, y compris les métaux, la pierre et le verre.[1]



Figure 7 : Découpeuses à jet d'eau CNC[14]

F/ Machines à décharge électrique CNC (CNC EDM - Electrical Discharge Machining):

Utilisent une étincelle électrique pour façonner des matériaux.

Adaptées pour la découpe de matériaux très durs ou complexes.[1]



Figure 8 : Machines à décharge électrique[15]

G/ Imprimantes 3D CNC (CNC 3D Printers):

- Utilisées pour créer des modèles tridimensionnels en ajoutant des couches de matériau.
- Utilisées dans la conception industrielle, la médecine et l'ingénierie.[1]



Figure 9 : Imprimantes 3D CNC[16]

H/ Routers CNC (CNC Routers):

- Utilisés pour graver et découper des matériaux comme le bois et le plastique.
- Courants dans la fabrication de meubles et de décors.

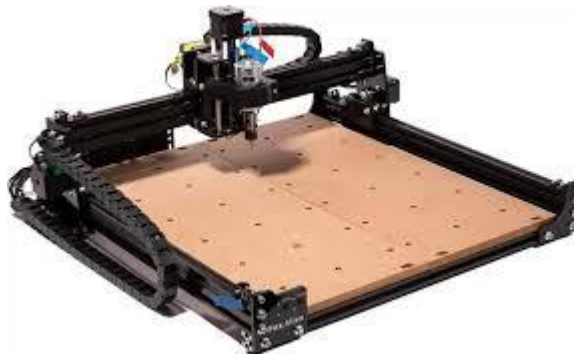


Figure 10 : RoutersCNC[17]

I/ Machines de poinçonnage CNC (CNC Punching Machines):

- Utilisées pour créer des trous ou des formes dans des tôles métalliques.
- Utilisées dans la fabrication de panneaux métalliques et de pièces structurales.

Chaque type de machine est conçu pour des usages spécifiques, et le choix de la machine dépend de la nature du travail requis et du type de matériaux utilisés.[1]



Figure 11 : Machines de poinçonnage CNC[19]

3- Technologies actuelles utilisées dans la fabrication CN:

Comme mentionné précédemment, les machines CNC jouent un rôle crucial dans de nombreux secteurs et connaissent une évolution rapide.

Certaines technologies récentes sont devenues indispensables tant pour les utilisateurs que pour les fabricants de divers domaines industriels.

Il est donc essentiel de mettre en avant ces innovations afin d'illustrer leur impact sur la quatrième révolution industrielle.

Voici quelques points clés concernant des applications modernes et avancées :

1- Découpe plasma:

La découpe plasma constitue une technologie avancée permettant la découpe précise des métaux, en particulier dans les domaines de la plomberie et de la réfrigération.

Ces machines réduisent non seulement les contraintes associées à la découpe des métaux, mais optimisent également le temps de traitement en minimisant les zones thermiquement affectées, garantissant ainsi une excellente qualité de finition.

Le procédé repose sur l'utilisation d'un jet de gaz (tel que l'air comprimé) projeté à une vitesse et une pression élevée à travers une buse. Simultanément, un arc électrique est généré et traverse ce gaz, provoquant son ionisation et la formation d'un plasma hautement énergétique.

Ce plasma, dont la température est suffisamment élevée pour fondre le matériau, assure une découpe nette et rapide. Par ailleurs, la vitesse d'éjection du gaz permet d'éliminer efficacement le métal en fusion, évitant ainsi toute altération involontaire des surfaces adjacentes.

Principalement employée pour la découpe de l'acier et d'autres alliages métalliques, cette technologie peut également être adaptée à divers matériaux en fonction des paramètres d'usinage.[7]

2-Découpe Laser CNC:

La technologie de découpe laser CNC est une solution polyvalente, accessible aussi bien aux ingénieurs qu'aux débutants, et applicable dans de nombreux domaines.

Que ce soit pour l'usinage, le marquage décoratif, la traçabilité des pièces ou toute autre application nécessitant une découpe précise, la technologie laser a connu des avancées significatives.

L'intégration du contrôle numérique aux technologies laser offre une flexibilité accrue dans les processus de découpe, permettant une application sur une large gamme de matériaux, notamment les métaux, le bois, les plastiques, le verre et la pierre.

Grâce à cette technologie, il est possible d'imprimer ou de graver des motifs complexes, des illustrations, des codes-barres, des étiquettes de traçabilité et des numéros de série sur divers matériaux avec une grande précision.[7]

3. Découpeurs au jet d'eau:

Ces outils CNC sont capables de trancher du métal ou d'autres matériaux (même aussi durs que le granit) en utilisant un jet d'eau à haute vitesse et pression. L'eau peut être chargée d'une substance abrasive comme du sable ou de la limaille. Cette technique est utilisée pour fabriquer ou fabriquer des pièces pour machines et autres appareils.

Cette technique est idéale pour les matériaux sensibles aux températures élevées impliquées par d'autres méthodes.

L'usinage au jet d'eau a trouvé des applications dans un grand nombre d'industries, de l'exploitation minière à l'aérospatiale. Il est utilisé pour des applications telles que la découpe, le façonnage, la sculpture et l'alésage.[7]

4. EDM à plomb:

Semblable à l'électroérosion à fil en termes de technique utilisée, ce type d'usinage CNC est également appelé EDM à cavité ou EDM en volume. La machine se compose d'une

électrode et d'une pièce à travailler immergées dans un fluide diélectrique comme de l'huile ou de l'eau déionisée.

Il utilise un claquage diélectrique sur une pièce conductrice, provoqué par l'approche d'une électrode, formant un canal de plasma et de petits sauts d'étincelles.

Les matrices et les moules de production sont souvent fabriqués avec l'électroérosion à platine.[7]

5-Marqueurs d'épingles flexibles à main DIY:

Les machines de marquage CNC sont généralement onéreuses en raison de leur conception robuste, adaptée aux exigences de l'usinage industriel. Cependant, avec l'émergence de besoins en marquage sur des broches à une échelle réduite, des entreprises comme HeatSign ont développé une gamme de marqueurs à micro-percussion.[7]

Ces dispositifs, bien qu'ils requièrent l'apport en air comprimé d'un compresseur pour générer la force de marquage, présentent un coût inférieur par rapport aux autres systèmes de marquage par percussion. Ils sont particulièrement adaptés aux applications de marquage DIY et aux opérations de petite envergure, où une vitesse de marquage modérée et des processus simplifiés sont suffisants.[7]

4/Analyse des machines CNC existantes sur le marché:

Les données disponibles indiquent que le marché des machines à commande numérique par ordinateur (CNC) connaît une croissance significative, avec une variation des parts de ventes entre les différents types de machines. Voici un aperçu des parts de marché de certains types de machines CNC au niveau mondial :

A/ Tours CNC : détiennent la plus grande part du marché avec 35 %, reflétant une forte demande pour ces machines dans les processus de fabrication de haute précision.[6]

B/ Fraiseuses CNC : représentent 30 % du marché et sont largement utilisées dans la fabrication nécessitant une grande précision.[6]

C/Machines de meulage CNC : constituent 20 % du marché et connaissent la croissance la plus rapide en raison de l'augmentation de la demande pour des machines de haute précision dans diverses industries.[6]

D/ Autres types : regroupent 15 % du marché, incluant diverses machines CNC utilisées dans des applications spécifiques.[6]

*Par ailleurs, les machines de découpe laser des métaux dominent le marché des machines de découpe CNC avec une part de 40 %, suivies par :

- Machines de découpe plasma : 25 %
- Machines de découpe par jet d'eau : 15 %
- Machines de découpe à la flamme : 10 %
- Machines de découpe par ultrasons : 10 %

Ces chiffres illustrent la répartition actuelle des ventes des différents types de machines CNC sur le marché mondial. Cependant, ces pourcentages peuvent évoluer avec les avancées technologiques et les besoins changeants des industries.[6]

ChapitrII : Conception de la machine CNC

1-Definition d'une machine cncfraiseuse:

Une machine-outil est un dispositif motorisé conçu pour effectuer des mouvements mécaniques, remplaçant ainsi l'intervention manuelle lors du traitement des matériaux. Cette machine a pour fonction de réaliser les mouvements de coupe nécessaires afin d'obtenir les dimensions précises des pièces. Elle assure à la fois le déplacement de l'outil et le mouvement d'avance par rapport à la pièce à travailler. De plus, elle doit respecter les spécifications fonctionnelles requises.

Une fraiseuse est un type de machine-outil qui peut fonctionner avec un contrôle manuel ou par commande numérique (CNC), permettant ainsi d'accueillir divers outils de fraisage, ainsi que d'autres outils tels que des forets et des tarauds, facilitant ainsi l'exécution des usinages complexes.

Un centre d'usinage est également classé comme une machine à commande tournante, capable de réaliser des opérations similaires à celles d'une machine à commande numérique (CNC), mais avec une flexibilité accrue grâce à un changement automatique des outils.

Les deux types de machines partagent d'importantes caractéristiques communes, justifiant leur traitement sous un même cadre conceptuel. L'utilisation de la machine à commande numérique (CNC) permet une automatisation avancée du processus d'usinage, rendant les opérations plus précises et réduisant le temps nécessaire pour accomplir les tâches.[9]



Figure 12 : machine cnc

1.2-Types de fraiseuses CNC:

Les fraiseuses CNC varient selon leur type et sont conçues pour répondre à des besoins de fabrication spécifiques, en fonction du nombre d'axes, de l'orientation de la broche et des dimensions des pièces à usiner.[9]

1.2. 1 Fraiseuse verticale:

La fraiseuse verticale est particulièrement adaptée aux opérations de perçage et de coupe en plongée. L'orientation verticale de la broche lui confère une grande polyvalence d'utilisation.[9]



Figure 13 : Fraiseuse verticale

1.2.2 Fraiseuse horizontale:

La fraiseuse horizontale est particulièrement adaptée aux opérations de fraisage intensives. Elle est équipée d'une broche orientée horizontalement, permettant l'usinage précis des faces latérales des pièces.[9]

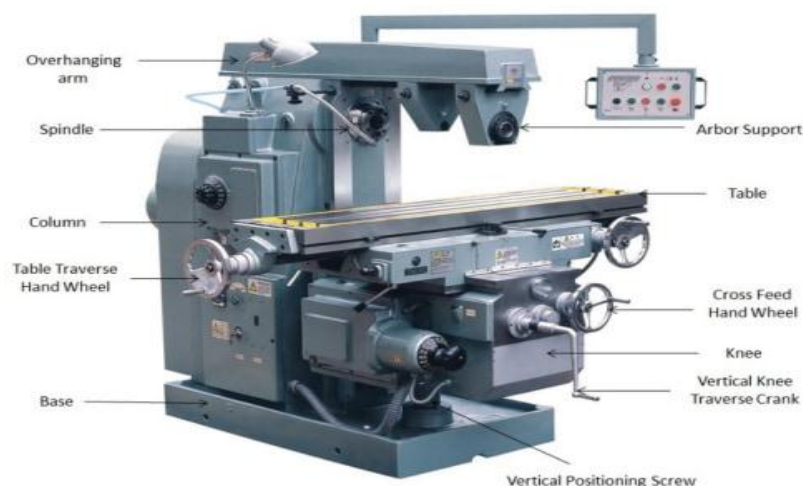


Figure 14 : Fraiseuse horizontale

1.2.3 Fraiseuse CNC multiaxes:

Les fraiseuses multiaxes CNC sont utilisées pour réaliser des opérations de coupe et de formage d'éléments complexes en contrôlant le mouvement sur plus de trois axes. Cette technologie améliore la précision et la qualité de fabrication, permettant ainsi de répondre aux exigences de conceptions avancées.[9]

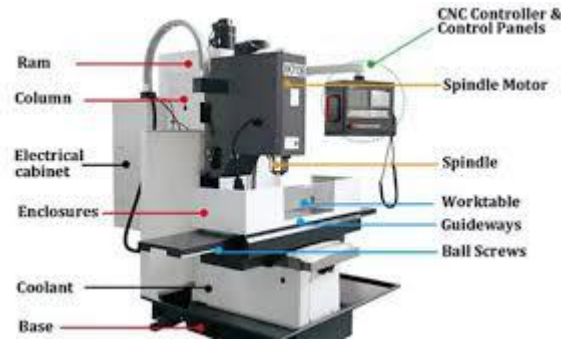


Figure 15 : Fraiseuse CNC 4 axes

1.2.4 Fraiseuse à tourelle:

Cette machine offre des options flexibles avec une broche fixe et une table mobile, permettant d'exécuter diverses opérations de fraisage avec précision et efficacité.[9]



Figure 16 : fraiseuse à 5 axes

3-Matériaux et méthodes de construction:

3.1/Matériaux:

Le choix des matériaux appropriés peut s'avérer complexe en raison de la grande variété de matériaux disponibles, chacun possédant des propriétés physiques et mécaniques différentes qui influencent leurs performances en usinage CNC. Voici les principaux facteurs à prendre en compte lors de la sélection d'un matériau, ainsi qu'une liste des matériaux les plus couramment utilisés.[03]

3.1.1. Fonctions partielles (Fonctions spécifiques):

Le matériau choisi doit posséder des propriétés intrinsèques lui permettant de remplir efficacement sa fonction dans son environnement d'utilisation. Par exemple, l'acier inoxydable est préféré à l'acier au carbone dans les environnements où la résistance à la corrosion est essentielle.[3]

3.1.2. Charge de contrainte (Résistance aux contraintes):

Il est essentiel de sélectionner des matériaux capables de supporter des charges mécaniques élevées sans subir de déformations ou de fissures. Un matériau inadapté pourrait entraîner la défaillance prématurée de la pièce.[3]

3.1.3. Tolérance dimensionnelle:

La précision dimensionnelle est cruciale en usinage, car des tolérances adéquates facilitent l'assemblage des pièces et réduisent les retouches. Il est conseillé de bien comprendre les tolérances en usinage CNC pour garantir une fabrication précise.[3]

3.1.4. Température de fonctionnement:

La température de fusion du matériau doit être supérieure à la température de fonctionnement de la machine CNC afin d'éviter toute déformation durant le processus d'usinage.[3]

3.1.5. Coût:

Le coût est souvent un facteur décisif dans le choix du matériau. Cependant, il est important de rechercher un équilibre entre les propriétés mécaniques souhaitées et le budget disponible pour assurer une performance optimale.[3]

❖ Matériaux couramment utilisés en fraisage CNC:

Le fraisage CNC est compatible avec une large gamme de matériaux, notamment :

Métaux : Aluminium, acier inoxydable, acier à outils, acier doux, laiton, cuivre

Plastiques : ABS, polycarbonate, nylon

Autres: Céramiques, composites, phénoliques

3.2/Méthode:

3.2.1. Méthodes de travail générales:

Usinage par enlèvement de matière : La fraise enlève de la matière par rotation, commandée par un programme.

Usinage 2D / 2.5D / 3D :

- 2D : coupe sur un seul plan (X-Y).
- 2.5D : mouvements dans X, Y et Z, mais un axe à la fois.
- 3D : mouvements simultanés sur X, Y, Z pour des formes complexes.[3]

3.2.2. Méthodes de programmation:

- G-code : langage de programmation standard utilisé pour contrôler les mouvements de la machine.
- CAO / FAO (CAD/CAM) :
- CAO (Conception Assistée par Ordinateur) : conception de la pièce.
- FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) : génération des parcours d'outils.[3]

4/Design de la machine:

Composition de machine CNC fraiseuse:

La fraiseuse CNC est un outil avancé qui intègre des composants mécaniques, électriques et électroniques, permettant ainsi l'exécution de tâches d'usinage avec une grande précision.[20]

4.1 Partie mécanique:

4.1.1Profil V-SLOT:

Le profil V-SLOT constitue un système de guidage linéaire de haute qualité, fabriqué en aluminium et doté de cannelures en V extrêmement lisses sur ses quatre côtés. Ce système offre une grande précision et une facilité d'utilisation, permettant ainsi un contrôle illimité sur la conception grâce à sa modularité. Il est également conçu pour guider les roulements en translation le long des axes de la machine.[20]



Figure 17 : Profil V-SLOT [21]

4.1.2 Tige pleine:

La tige pleine est une pièce cylindrique, mince et allongée, généralement en métal. Sa section transversale est pleine, ce qui la rend adaptée pour supporter et guider les mouvements dans des applications techniques. Les tiges pleines ont de nombreuses applications dans divers domaines, où elles sont utilisées comme éléments fondamentaux dans la construction de structures et de machines.[20]



Figure 18 : Tige pleine [22]

4.1.3.Roulements linéaires:

Les roulements linéaires représentent un type spécialisé de systèmes de support utilisés dans le mouvement de translation, comprenant plusieurs catégories :

4.1.3.1Roulements linéaires avec billes:

Ces roulements sont les plus courants, car ils contiennent des billes métalliques fonctionnant dans un environnement à faible frottement. Les billes ont un contact très minime avec l'arbre, ce qui contribue à réduire le frottement. Malgré les fortes pressions pouvant être exercées sur l'arbre, l'utilisation de ces roulements est recommandée pour des applications de charges lourdes, grâce à leur conception qui offre une grande durabilité. De plus, ils sont faciles à lubrifier, fonctionnent silencieusement et présentent des coûts abordables, ce qui en fait un choix idéal dans de nombreuses applications d'ingénierie.[20]



Figure 19 : Roulements linéaires avec billes [23]

4.1.3.2 Roulements linéaires en plastique:

Les roulements linéaires en plastique ont connu une croissance significative au cours des deux dernières décennies, grâce aux avancées continues dans la technologie des matériaux plastiques, qui présentent un faible coefficient de friction.[20]



Figure 20 : Roulements linéaires en plastique [24]

4.1.4 Tige filetée:

Dans le domaine de la fabrication des machines à commande numérique par ordinateur (CNC), les vis sont utilisées pour la conversion de mouvement. La tige filetée présente une âme de section circulaire, avec des filets usinés selon un chemin hélicoïdal sur son périmètre.[20]



Figure 21 : Tige filetée [25]

4.1.5 Écrou

Un écrou est un composant fabriqué en métal, en bois ou en autres matériaux durs, utilisé pour fermer un trou cylindrique. Il est doté d'une surface interne filetée, permettant l'insertion d'une vis pour assurer la connexion entre différentes pièces.[20]



Figure 22 : Écrou [26]

4.1.6 Équerre de fixation

Les équerres de fixation sont des dispositifs utilisés pour interconnecter des rails linéaires V-Slot, formant ainsi un angle de 90 degrés. Ces éléments sont couramment employés dans la fabrication de machines CNC nécessitant des assemblages robustes et stables.[20]

Corner Fitting Angle

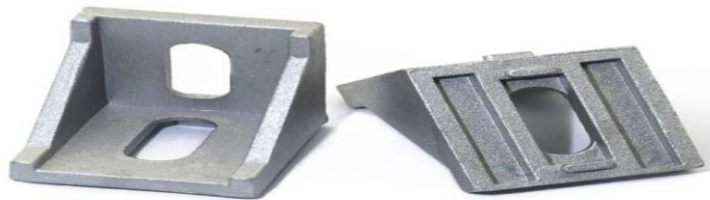


Figure 23 : Équerre de fixation [27]

4.1.7Accouplement

Un accouplement est un dispositif de liaison entre deux arbres rotatifs qui permet la transmission du couple.



Figure 24 : Accouplement [28]

Il existe des accouplements dits « semi-élastiques » conçus pour corriger de légers défauts d'alignement, généralement dus aux imprécisions d'usinage. Ces dispositifs sont en

général constitués de deux éléments rigides reliés à l'arbre, associés à un composant légèrement flexible permettant de compenser les désalignements.[20]

4.2.Partie électronique:

4.2.1 Microcontrôleur:

Un microcontrôleur est un circuit intégré qui regroupe les composants essentiels d'un ordinateur au sein d'une seule puce électronique.

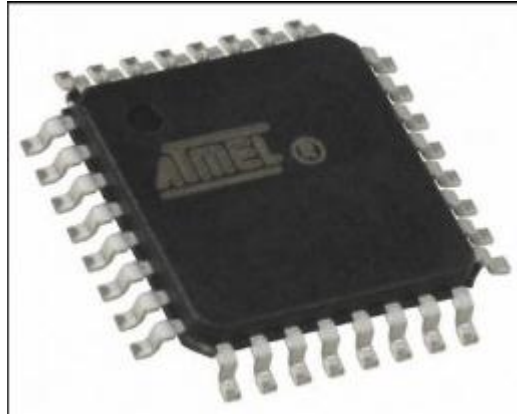


Figure 25 : microcontrôleur Atmel[20]

4.2.1.1.Processeur :

Le processeur interprète les instructions et traite les données du programme. Il fonctionne avec une fréquence d'horloge de quelques mégahertz à plusieurs dizaines de mégahertz, tout en consommant une très faible puissance, généralement une fraction de watt. L'architecture de son jeu d'instructions est relativement simple, facilitant ainsi la programmation et l'utilisation.

4.2.1.2. Mémoire ROM (Read Only Memory):

La mémoire ROM est une mémoire non volatile utilisée pour stocker les instructions essentielles au fonctionnement du système.

Son contenu est permanent et ne s'efface pas lorsque l'alimentation est coupée.

La capacité de stockage varie généralement de quelques centaines à plusieurs centaines de kilo-octets.

4.2.1.2. Mémoire RAM (Random Access Memory):

La mémoire RAM est une mémoire volatile destinée au stockage temporaire des variables lors de l'exécution d'un programme.

Elle est caractérisée par une capacité limitée, allant de quelques centaines d'octets (ou bytes en anglais) à des dizaines de kilo-octets, selon le modèle utilisé.

4.2.1.3. Circuits d'Entrées/Sorties (E/S):

Les circuits d'entrées/sorties assurent la communication entre le système et son environnement extérieur.

- **Entrées**: Permettent de lire des valeurs logiques binaires, par exemple issues de capteurs ou interrupteurs.
- **Sorties** : Permettent de délivrer un courant électrique de quelques milliampères pour commander des dispositifs externes, tels que les LEDs.[20]

4.2.2.Les moteurs:

Les moteurs représentent des composants essentiels dans une fraiseuse CNC, car ils assurent le mouvement précis des axes (X, Y, Z). De manière générale, on retrouve trois types principaux de moteurs dans ce type de machine : les moteurs pas à pas (Stepper Motors), les servomoteurs (Servo Motors) et parfois les moteurs asynchrones (Induction Motors) pour l'entraînement de la broche.[20]

4.2.3.Adaptateurs de drivers

Ce sont des cartes d'extension open-source, destinée au contrôle des moteurs pas à pas d'une machine CNC à l'aide d'un microcontrôleur.

Les adaptateurs sont des composants essentiels pour simplifier la connexion et la gestion des éléments d'une machine à commande numérique par ordinateur (CNC) dédiée aux moteurs de fraisage. Les principales parties comprennent :

- **Supports de moteurs** : Ces supports sont utilisés pour connecter les unités de contrôle aux moteurs impliqués dans le processus de fraisage.
- **Broches d'axe** : Chaque unité de contrôle dispose d'un ensemble de broches dédiées à relier les différents axes, facilitant ainsi un mouvement précis.
- **Broches d'alimentation** : Le shield comprend des broches pour fournir de l'énergie aux microcontrôleurs et aux moteurs.
- **Connecteurs de fin de course** : Il existe également des connecteurs pour relier les interrupteurs utilisés pour terminer le mouvement de chaque axe, garantissant sécurité et précision.
- **Sorties supplémentaires d'axes** : Certaines versions du shield incluent des sorties supplémentaires pour les axes, offrant une plus grande flexibilité de contrôle.
- **Jumpers de micro-pas** : Le shield dispose de jumpers permettant d'ajuster la précision du moteur selon les besoins.

- **Borniers à vis** : Des borniers à vis sont présents pour faciliter la connexion de l'alimentation, des moteurs et d'autres composants.
- **Broches pour refroidissement, broche et direction** : Ces broches permettent de contrôler l'activation/désactivation du moteur de la broche, sa vitesse (PWM) et la direction de sa rotation.[20]

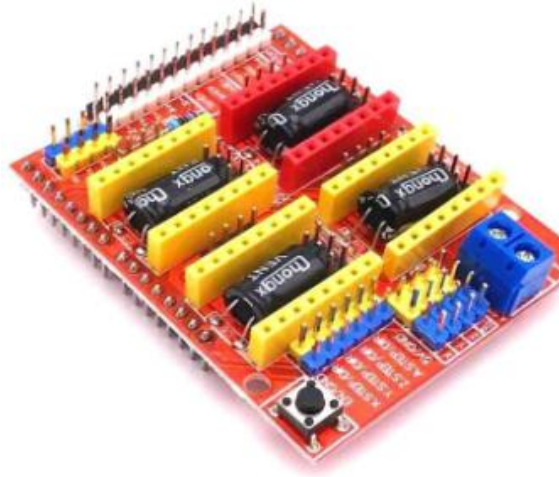


Figure 26 : CNC shield V3[20]

4.2.4. Capteur de fin de course:

Les capteurs de fin de course sont des dispositifs de détection fonctionnant sur le principe du contact de proximité, constitués d'un actionneur mécaniquement relié à un jeu de contacts électriques. Lorsqu'un objet entre en contact avec l'élément actif, le dispositif active les contacts, permettant ainsi d'ouvrir ou de fermer le circuit électrique.

Ces capteurs sont couramment utilisés dans les systèmes de contrôle automatique, car ils fournissent des informations précises sur la position des pièces mobiles, améliorant ainsi l'efficacité et la fiabilité des processus industriels.[20]

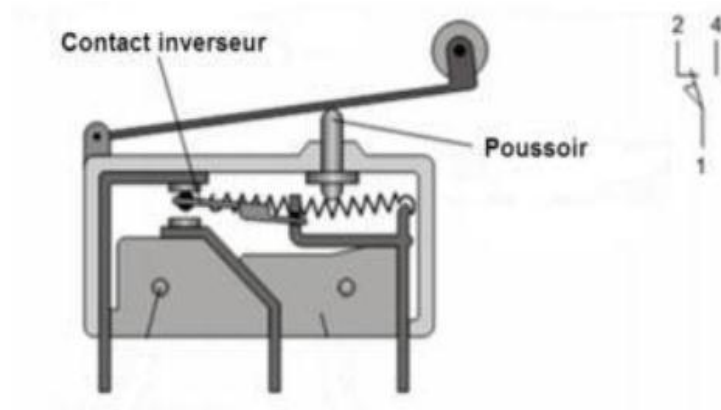


Figure 27 : capteur de fin course mécanique[20]

4.2.5. La broche:

C'est un convertisseur électromécanique offre la possibilité de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique en utilisant un courant continu ou alternative. La broche est constituée de quatre éléments essentiels.[20]

- ❖ **Le Stator (inducteur)** : est constitué d'un circuit magnétique comprenant une couronne massive ou en couches, sur laquelle sont fixés les pôles magnétiques saillants qui alternent régulièrement.
 - Les pôles inducteurs sont équipés d'un ou plusieurs enroulements d'excitation alimentés en courant continu.
 - Les pôles auxiliaires, également connus sous le nom d'axes neutres, sont placés entre les pôles inducteurs pour améliorer le processus de commutation.[20]
- ❖ **Le Rotor (induit)** : forme un circuit magnétique en feuille avec des encoches régulièrement réparties sur sa surface.[20]
- ❖ **Le Collecteur** : est fixé à l'arbre du rotor, où les balais sont au contact. Chaque lame en cuivre de section trapézoïdale est équipée d'une ailette de connexion à l'enroulement.[20]
- ❖ **Les Balais** : en charbon graphitique, sont solides et reposent sur des lames diamétralement opposées du collecteur. Ils restent immobiles et sont électriquement isolés du bâti de la machine.[20]

Cette composition contribue à améliorer la performance et l'efficacité des moteurs électriques, renforçant ainsi l'efficacité des procédés industriels.

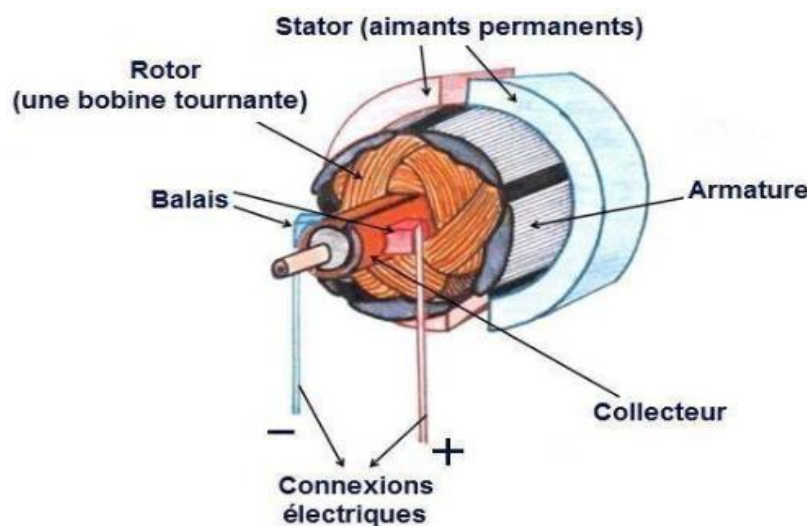


Figure 28 : Constitution d'une machine à courant continu[20]

4.2.6.Alimentation:

Un système électrique constitue un dispositif essentiel destiné à fournir de l'électricité à divers équipements. Indépendamment des caractéristiques du réseau électrique, ce système garantit que l'alimentation électrique des dispositifs soit conforme à leurs besoins spécifiques.[20]

Dans le cadre des machines CNC, plusieurs composants, tels que le microcontrôleur, le shield CNC et la broche, sont alimentés par courant continu. La tension requise pour chaque composant peut varier ; par exemple, l'alimentation du microcontrôleur se situe généralement entre 5V et 12V. Le shield CNC peut être alimenté par une tension de 12V, tandis que la puissance de la broche est déterminée par ses spécifications techniques.[20]



Figure 29 : Alimentation

5.Type de moteurs (pas à pas, servo, linéaires):

5.1Moteurs pas à pas:

Les moteurs pas à pas sont couramment utilisés dans les machines CNC en raison de leur capacité à fournir un contrôle précis de la position et de la vitesse. Leur fonctionnement repose sur des déplacements en étapes distinctes, ce qui les rend particulièrement adaptés aux applications nécessitant une grande précision de positionnement, telles que l'impression 3D et le prototypage. Toutefois, ces moteurs peuvent présenter des limitations en termes de vitesse et de couple par rapport à d'autres types de moteurs.[2]



Figure 30 : Driver de moteur pas à pas model A4988[20]

5.1.1 types moteurs pas à pas :

a/ Les moteurs Bipolaire:

Les bobinages d'un moteur bipolaire sont alimentés par un courant électrique qui change de direction. Cela permet de créer alternativement un pôle nord puis un pôle sud, ce qui définit la nature bipolaire du moteur. Ce type de moteur est constitué de quatre fils, répartis sur deux bobines indépendantes, appelées "deux phases".[9]

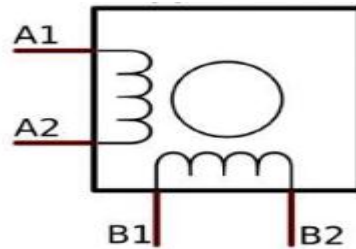


Figure 31 : moteur Bipolaire [9]

b/ Les moteurs unipolaires:

Les bobinages d'un moteur unipolaire sont alimentés de manière uniforme dans un seul sens grâce à une tension unique, ce qui justifie le terme "unipolaire".

Il existe plusieurs configurations de moteur unipolaire :

- **5 fils** : Un fil commun aux 4 bobines avec un fil supplémentaire par bobine.
- **6 fils** : Deux bobines avec un point milieu, parfois appelées "2 phases".
- **8 fils** : Quatre bobines indépendantes, également connues sous le nom de moteur universel.

Pour des raisons terminologiques, ces types de moteurs sont souvent désignés comme "4 phases".

Ces moteurs sont compatibles avec les modèles GP99 et BB00.[9]

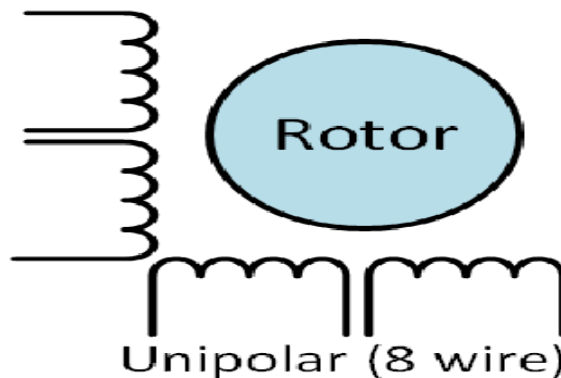


Figure 32 : moteurs unipolaires [9]

❖ Comparaison des types:**• Bipolaire**

- Puissance disponible plus élevée pour à caractéristiques mécaniques identiques.

• Unipolaire

- Les moins chers!
- Plus facile à mettre en œuvre. C'était surtout vrai avant l'arrivée de circuits intégrés spécialisés.

❖ Avantages:

- Positionnement extrêmement précis.
- Système de commande simplifié.
- Coût relativement faible.

❖ Désavantages:

- Vitesse de rotation limitée.
- Couple plus faible comparé aux servomoteurs.
- Sensibilité accrue aux phénomènes de résonance.

5.2.Servomoteur:

Les servomoteurs sont des moteurs à haute performance et à grande flexibilité, ce qui les rend adaptés à un large éventail d'applications CNC. Contrairement aux moteurs pas à pas, les servomoteurs utilisent des boucles de rétroaction via des encodeurs pour permettre un contrôle précis de la vitesse, du couple et de la position. Ils se distinguent par leur efficacité à grande vitesse et leur capacité à gérer des charges dynamiques.[2]



Figure 33 : Servo moteur [29]

❖ Avantages:

- Couple élevé à grande vitesse.
- Excellente précision de position.
- Réponse dynamique efficace aux variations de charge.

❖ **Désavantages:**

- Coût plus élevé par rapport aux moteurs pas à pas.
- Système de commande plus complexe.
- Nécessitent.[2]

5.3.Moteurs linéaires:

Les moteurs linéaires représentent une technologie relativement récente dans le domaine de l'usinage CNC, mais leur popularité ne cesse de croître grâce à leurs avantages distinctifs. Contrairement aux moteurs rotatifs, les moteurs linéaires génèrent un mouvement linéaire direct, ce qui élimine la nécessité de composants mécaniques de transmission tels que les courroies et les vis. Cette architecture permet une accélération plus rapide, un mouvement plus fluide et une précision accrue.[2]



Figure 34 : Moteurs linéaires[30]

❖ **Avantages:**

- Mouvement linéaire direct sans composants mécaniques intermédiaires.
- Vitesse et accélération élevées.
- Besoins réduits en maintenance.

❖ **Désavantages:**

- Coût initial plus important.
- Utilisation restreinte à certaines applications spécifiques.
- Sensibilité accrue aux facteurs environnementaux comme la poussière et l'humidité.[2]

6/Système de transmission (courroies, vis à billes):

6.1.Transmission à vis à billes:

La transmission par vis à billes constitue un composant fondamental dans de nombreuses machines à commande numérique par ordinateur (CNC). Elle est principalement utilisée pour convertir un mouvement de rotation en un mouvement linéaire précis. Ce système est largement privilégié en raison de sa haute efficacité et de sa grande précision.[3]



Figure 35 : vis à billes [31]

6.1.1.Structure :

- **Arbre à vis** : Il s'agit d'un axe fileté comportant des rainures hélicoïdales qui guident le déplacement des billes.
- **Roulements à billes** : Ces billes roulent dans les rainures entre l'arbre et l'écrou, réduisant ainsi les frottements et permettant un mouvement fluide.
- **Écrou** : Contient les billes et est monté sur l'arbre. Lorsque l'arbre tourne, l'écrou se déplace le long de celui-ci, transformant ainsi le mouvement rotatif en mouvement linéaire.[3]

6.1.2.Principe de fonctionnement :

- **Conversion du mouvement rotatif** : Lorsque l'arbre est mis en rotation par un moteur, les billes facilitent le déplacement de l'écrou le long de l'arbre.
- **Génération du mouvement linéaire** : Le déplacement de l'écrou dans une direction donnée est utilisé pour différentes fonctions dans les machines CNC, telles que le positionnement précis de l'outil ou de la pièce à usiner.[3]

6.1.3.Avantages :

- **Haute précision** : Les vis à billes offrent une grande précision, idéale pour les applications nécessitant des tolérances serrées.

- **Efficacité élevée** : Grâce à une réduction significative des pertes dues au frottement, elles permettent une meilleure efficacité énergétique que les systèmes de transmission classiques.[3]

6.1.4.Applications :

Les vis à billes sont largement utilisées dans les machines CNC comme les fraiseuses, les tours et autres équipements où un positionnement précis et un mouvement linéaire fluide sont indispensables.[3]

6.2/Transmission par courroie:

Le système de transmission par courroie est l'un des moyens couramment utilisés pour transférer le mouvement dans les machines à commande numérique par ordinateur (CNC). Il permet de convertir le mouvement de rotation généré par le moteur en un mouvement linéaire le long des axes de la machine. Ce système repose sur l'utilisation de courroies et de poulies pour assurer une transmission mécanique simple et efficace.[3]



Figure 36 : courroie [31]

6.2.1.Structure du système :

- **Courroie** : Généralement fabriquée à partir de caoutchouc ou de polymères haute performance, elle sert à relier les poulies et à transmettre l'énergie mécanique entre elles. Il existe différents types de courroies selon l'application, comme les courroies crantées (synchrone) ou trapézoïdales.
- **Poulies** : Ce sont des roues munies de rainures qui correspondent au profil de la courroie. L'une des poulies est montée sur l'arbre du moteur, tandis que l'autre est fixée à l'élément mobile, tel qu'un axe ou une table.[3]

6.2.2 Principe de fonctionnement :

- **Transmission du mouvement rotatif** : Lorsque la poulie motrice (liée au moteur) tourne, elle entraîne la courroie.

- **Conversion en mouvement linéaire** : Le déplacement de la courroie entraîne la poulie réceptrice et, par conséquent, l'élément fixé à celle-ci se déplace de manière linéaire sur un axe donné.[3]

6.2.3. Avantages du système :

- **Faible coût** : Les systèmes à courroie sont généralement plus économiques que d'autres systèmes de transmission tels que les vis à billes ou les crémaillères.
- **Fonctionnement silencieux** : Comparés aux engrenages ou aux vis à billes, les systèmes à courroie produisent moins de bruit.[3]

6.2.4 Applications :

Les systèmes de transmission par courroie sont souvent utilisés dans des machines CNC d'entrée de gamme, ou dans les applications où une extrême précision n'est pas requise. Ils sont idéaux lorsque la simplicité, la vitesse et le coût sont des critères plus importants que la tolérance ou la précision absolue.[3]

Le choix du type de transmission dans une machine CNC dépend des exigences spécifiques de l'application, en tenant compte de facteurs tels que la précision, la charge, la vitesse et la rentabilité.

7. choix du logiciel:

7.1. fusion 360:

Fusion 360 est l'un des logiciels les plus populaires utilisés pour les machines de fraisage CNC. Le programme offre des fonctionnalités avancées tant en conception assistée par ordinateur (CAO) qu'en fabrication assistée par ordinateur (CAM), le rendant idéal pour les techniques de fraisage dans deux systèmes : le fraisage à deux axes et le fraisage à six axes. De plus, le logiciel prend en charge de nombreux types de fichiers tels que 3MF, DXF et STL.

Fusion 360 peut se connecter à diverses techniques de fabrication telles que le prototypage, le fraisage et le tournage. Vous pouvez également effectuer un fraisage en utilisant des techniques à 2,5 axes ou à 4 axes avec ce logiciel.

Ce programme offre un soutien dans la prise de décisions en équilibrant performances et coûts, ce qui aide à réduire le coût de fabrication en fonction des besoins de production comme paramètre principal.

En tant que l'un des meilleurs logiciels gratuits pour les machines de fraisage CNC pour les débutants, Fusion 360 possède de larges applications dans divers domaines, tels que la

conception de produits, l'artisanat et l'ingénierie mécanique, et fonctionne efficacement sur les systèmes d'exploitation Windows et macOS.[2]



Figure 37 : slogan fusion 360[2]

7.2. CAO gratuite:

"La fraiseuse CNC est un outil puissant dans le domaine de la conception et de la fabrication. Elle utilise des techniques de commande numérique pour offrir une précision élevée dans les opérations de découpe et de sculpture. Les utilisateurs de logiciels comme FreeCAD peuvent préparer leurs conceptions tridimensionnelles, puis convertir ces conceptions en instructions utilisables en générant le code G.

La fraiseuse CNC permet de travailler sur une variété de matériaux tels que le bois, le métal et le plastique, ce qui en fait le choix idéal pour de nombreux projets industriels et artisanaux. Les utilisateurs peuvent contrôler avec précision le mouvement de l'outil, facilitant ainsi l'exécution de détails complexes et raffinés.

Les fraiseuses CNC prennent également en charge une variété d'outils et d'opérations, notamment les opérations de découpe, de perçage et de formage, offrant ainsi une grande flexibilité dans l'exécution.[2]



Figure 38 : slogan CAO[2]

7.3. SOLIDWORKS:

Les fraiseuses CNC (Commande Numérique par Ordinateur) sont des outils essentiels dans le domaine de la fabrication moderne. Elles offrent une grande précision et une efficacité élevée dans les opérations d'usinage, en s'appuyant largement sur des logiciels de conception comme SolidWorks. Les utilisateurs de SolidWorks peuvent tirer parti des fonctionnalités CAM disponibles pour planifier et exécuter les opérations de fraisage avec une précision remarquable, ce qui leur permet de réaliser des conceptions complexes de manière rapide et efficace. Ces machines permettent également de travailler sur une grande variété de matériaux, ce qui les rend idéales pour répondre aux besoins de divers secteurs industriels. Avec l'évolution continue des technologies de fabrication, les fraiseuses CNC restent à la pointe de l'innovation, renforçant ainsi la compétitivité des entreprises sur le marché.[2]



Figure 39 : slogan solidworks[2]

7.4.G-Code:

Le G-CODE est un langage de programmation utilisé par les machines CNC. Ce langage peut générer différents formats de fichiers (.gcode, .nc, .ncc, .cnc ...etc.).

Il existe des logiciels qui génèrent ce format de fichiers à partir des dessins puis l'utilisateur envoie ce fichier vers la machine afin qu'elle le traduise en mouvement des moteurs pas à pas (Axes de la machine) ainsi que d'autres fonctions tel que le contrôle de la vitesse de la broche.[20]

ChapitrIII:
conception machine fraiseuse
CNC a trois axes X Y Z.

Introduction:

La conception assistée par ordinateur est un programme complet pour toutes les normes et comprend tous les outils et techniques d'ingénierie pour la conception. Il comprend également des outils pour tester la résistance à la traction, le cisaillement, la coupe, etc., comme on l'appelle. Il effectue des dessins, simule le montage et le démontage et étudie tous les mouvements.

Par conséquent, nous disons que la conception assistée par ordinateur facilite toutes les études de conception et de fabrication avec le moins de temps et le moindre coût.

Cahier de charge:

le projet de fin d'étude de mémoire de faire la conception assistée par ordinateur CAO pour la machine fraiseuse CNC a trois axes X Y Z.

Le but de cette conception est de choisir les meilleurs standards et de faciliter le processus de fabrication avec le moindre coût, le moindre effort et le moins de temps.

Dans cette étude, nous avons un aspect unique de la mécanique selon l'objectif mécanique en déplaçant la machine sur les trois axes, ainsi que le choix du matériau pour les pièces qui composent la machine, car nous avons montré le processus d'assemblage des pièces, quelles sont les étapes suivantes:

- ✓ Dimensions et spécifications de la machine.
- ✓ Choisir les matériaux qui composent les pièces.
- ✓ Le coût le plus bas pour les pièces des composants de la machine.

Dans ce projet, nous avons choisi le programme de conception géant Solidworks qui est abordable et facile à utiliser

Système de guidage:

linéaire sur les axes X Y Z ce système utilise pour qui n'ont pas de vibration.

Transition facile et flexible

Arbres en acier xc38 et bague en bronze L'une des caractéristiques du bronze est qu'il est toujours lubrifié en interne.

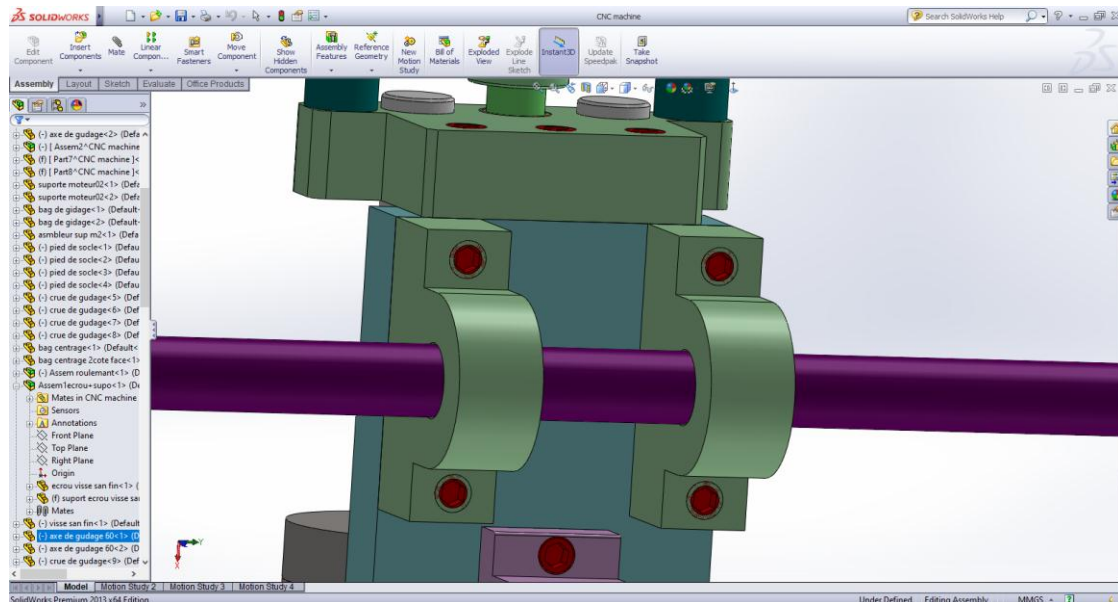


Figure 40: guidage.

2-système de transmission

Avec le système de mouvement rotatif entre la vis spirale et l'écrou, nous obtenons un mouvement de translation Ce système a un couple fort et un mouvement de transition rapide dans cette systèmeutilisésLa vis et l'écrou plusieurs spirale trapézoïdale le pas de filetage et 24mm le nombre de filet quatre (4) files L'une des caractéristiques de ce métal est qu'il est toujours lubrifié en interne.

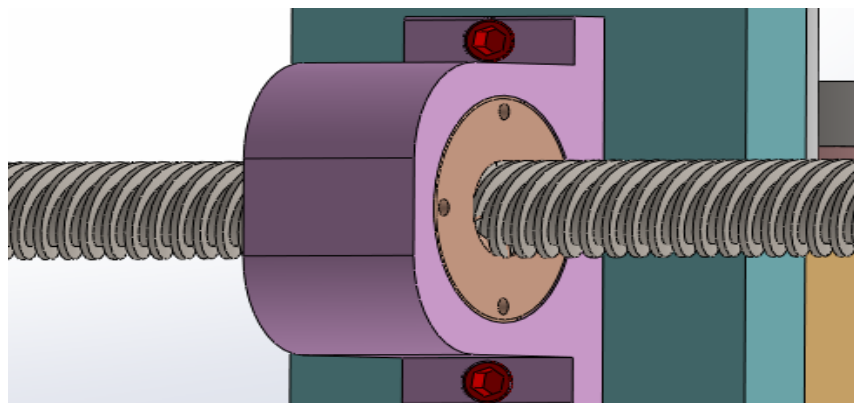


Figure 41:transmission.

Système de mouvement :

Le moteur:

Les moteurs diffèrent d'un moteur à l'autre au détriment de son énergie et au détriment de sa puissance et de son rendement Et au détriment de sa alimente , Il y a plusieurs moteurs à mentionner.

Dans cette conception, nous avons choisi les moteurs pas à pas, ces moteurs sont de type électromécanique, et ils sont plus précis dans le contrôle de la vitesse angulaire.

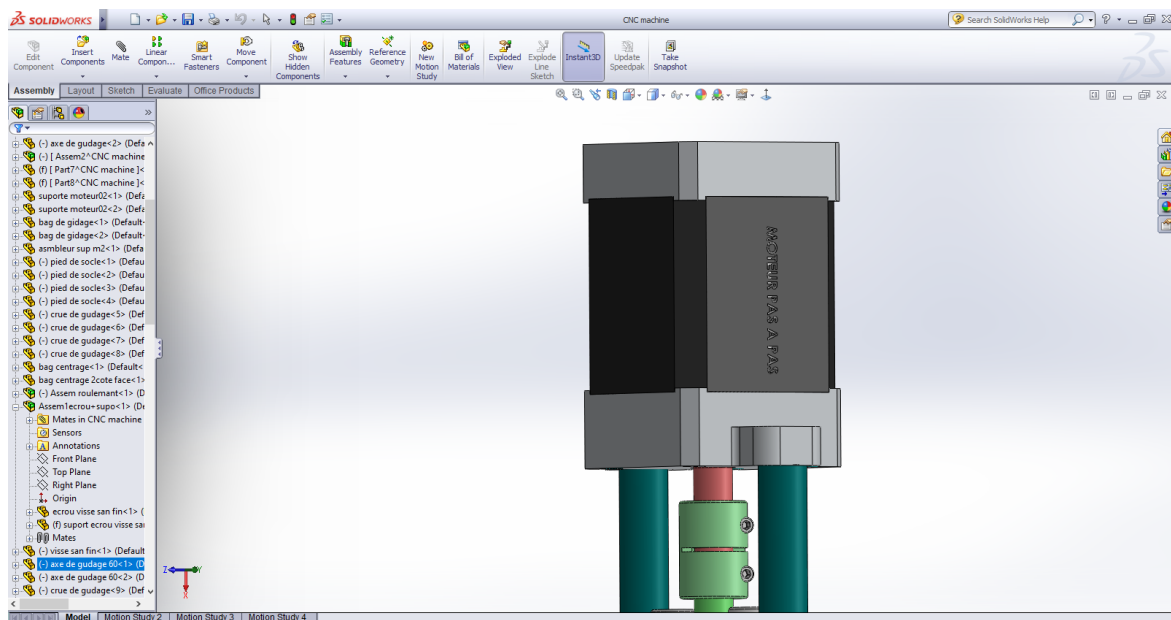


Figure 42:Le moteur .

Système de fixation

Le démontage et l'installation entre le secteur de la machine se fait au moyen d'une vis et d'un écrou pour une installation et un démontage faciles.

C'est pourquoi nous avons choisi le boulon et l'écrou pour la facilité de montage et de démontage du secteur les uns des autres et son petit prix.

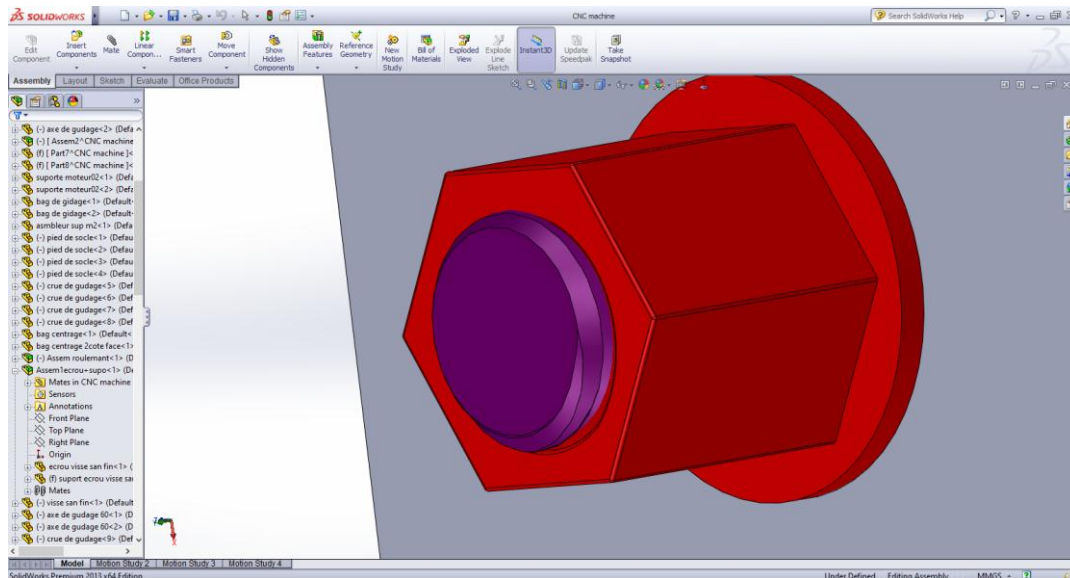


Figure 43:fixation.

Accouplement:

L'outil de connexion est une pièce qui relie deux colonnes pour faciliter le processus de mouvement entre un appareil et un autre en douceur, appelé l'accouplement.

Dans cette conception, nous avons utilisé un accouplement flexible.

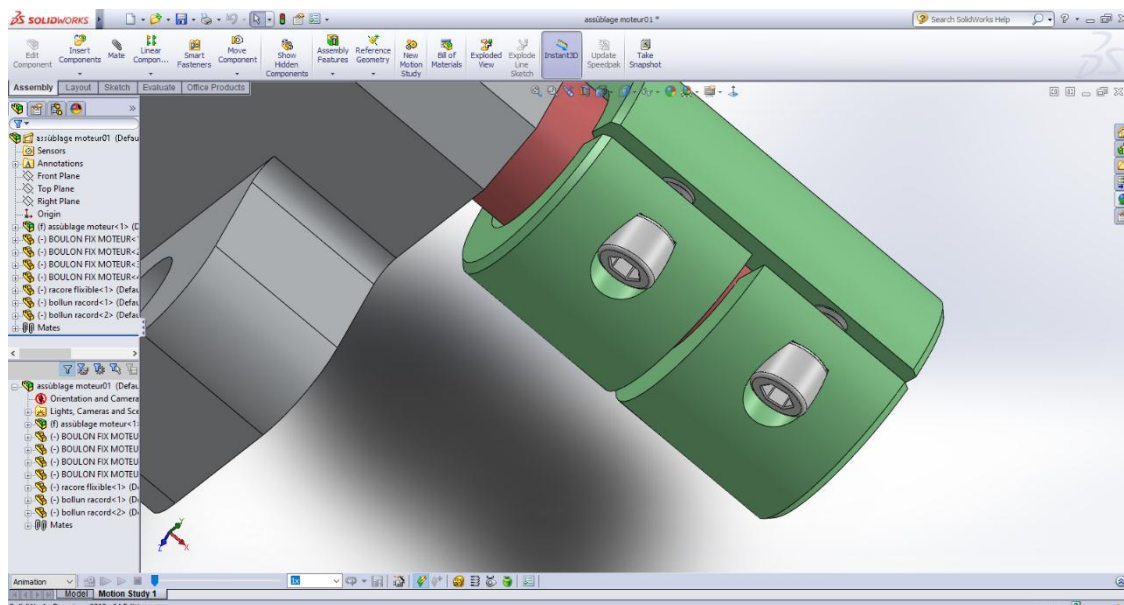


Figure 44: Accouplement .

la broche:

Quant au système de coupe, nous utilisons un moteur spinale triphasé d'une vitesse de 24 000 tours par minute, d'un diamètre de 80 mm.

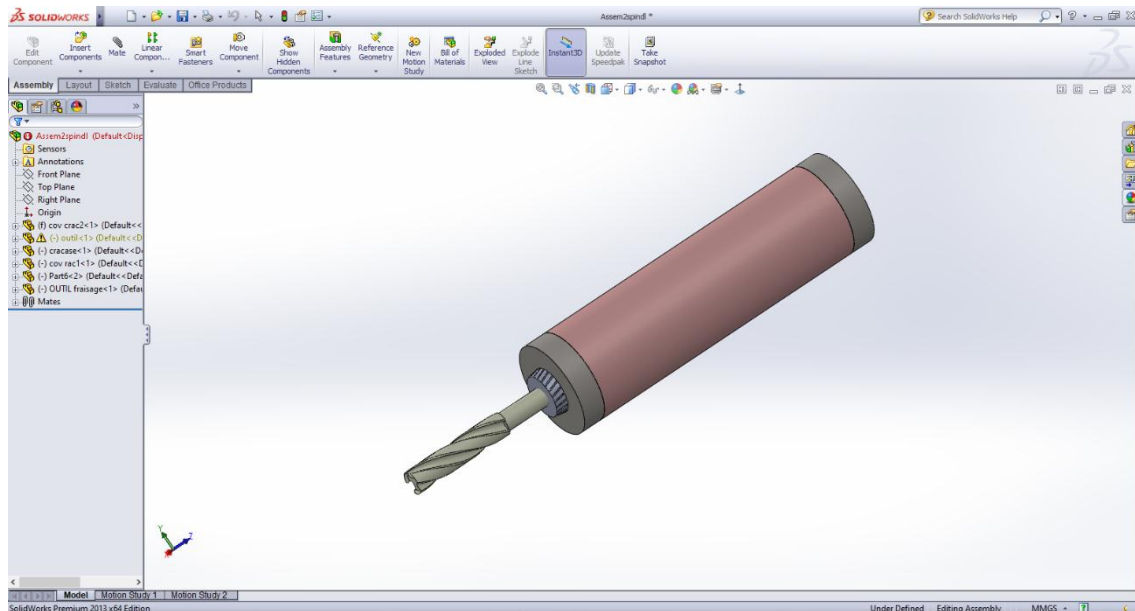


Figure 45: la broche .

La conception de Solidworks s'effectue en trois étapes:

- ✓ La première étape représentation 3D d'un composant de conception unique.
- ✓ Deuxième étape un agencement 3D dépièce et /ou d'autres assemblages.
- ✓ Troisième étape un dessin technique 2D, généralement d'un pièce ou d'un assemblage.

La première étape:

nous avons conçu chaque secteur individuellement, comme les boulons, les écrous, le châssis et les moteurs, puis nous avons choisi les matériaux qui les composent

la deuxième étape:

après avoir terminé la conception des pièces, nous les avons assemblées les unes dans les autres depuis la base jusqu'à la fin de l'assemblage, avec correction de toutes les erreurs de la première étape..

Troisième étape:

nous avons extrait le schéma montrant toutes les dimensions, mesures et spécifications afin que l'usine puisse fabriquer les pièces avec facilité et confort, ainsi que celui qui collectera et installera les pièces ensemble

Dans ce projet, en s'appuyant sur le programme Solidworks, nous avons conçu une fraiseuse avec un mouvement à trois axes. Dans le détail, nous avons dessiné les secteurs chacun séparément, puis nous avons assemblé les secteurs les uns avec les autres comme indiqué sur les dessins

Calcul du centre de gravité de CNC:

Le programme Solidworks nous a aidé à calculer le centre de gravité de la masse afin de connaître l'équilibre de la machine et son anti-renversement

Centre de gravité de la masse:

centre de gravité table avant et arrière

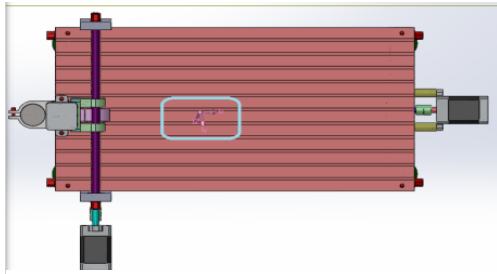


Figure 46: centre de gravité table avant .

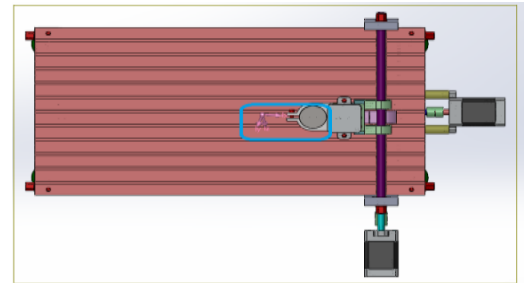


Figure 47: centre de gravité table arriere

$x=542.4$

$Y=933.22$

$Z=892.27$.

Dans cette conception, le poids total de la machine a également été calculé avec solidwoeks

Masse= 104120g

Dimensions de la machine: L x B x H 1425.20mmX925.13mmX1107.59 mm

Dimension de travailler la machin

$X=540$

$Y=740$

$Z=230$

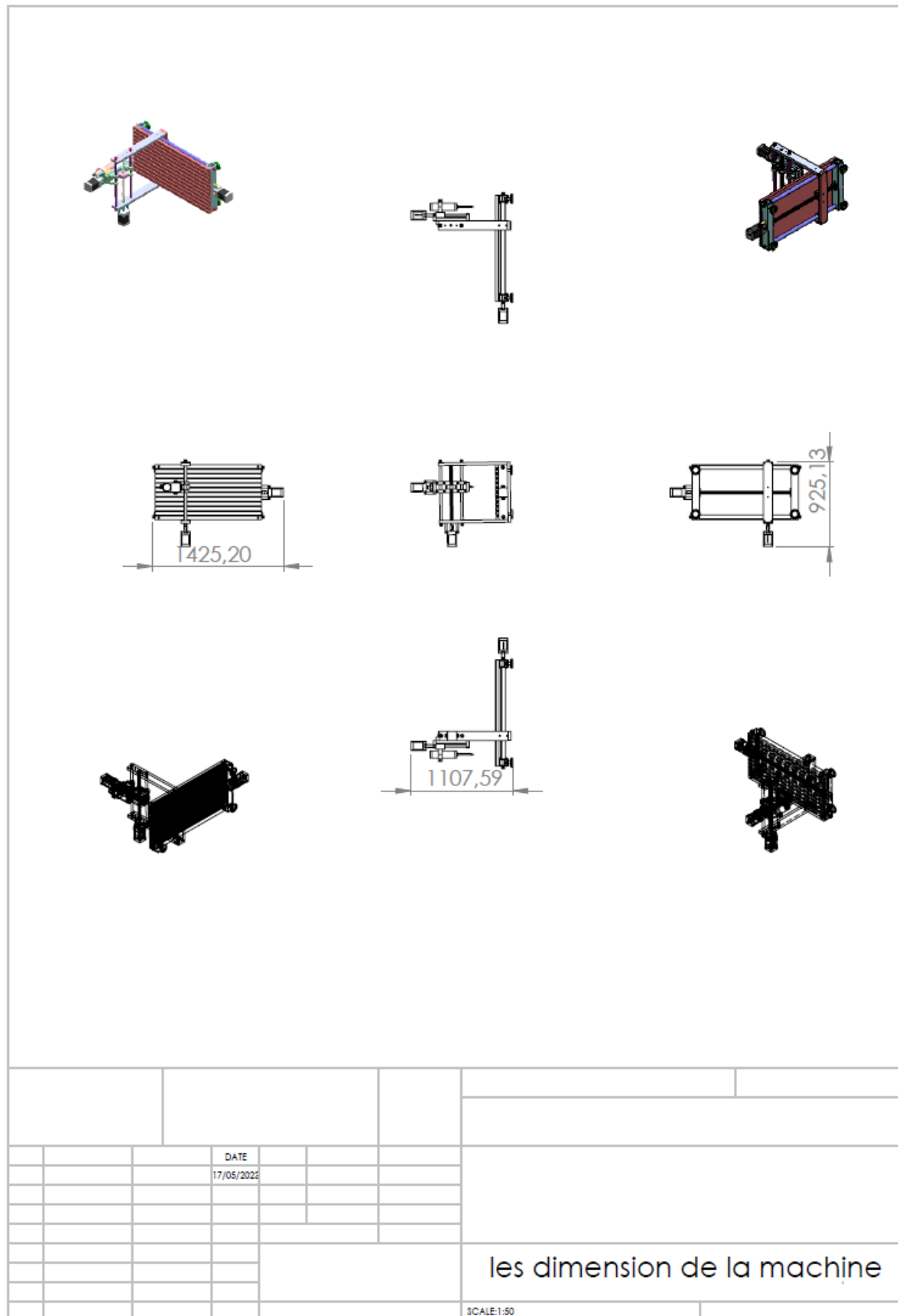


Figure 48: les dimension de la machine.

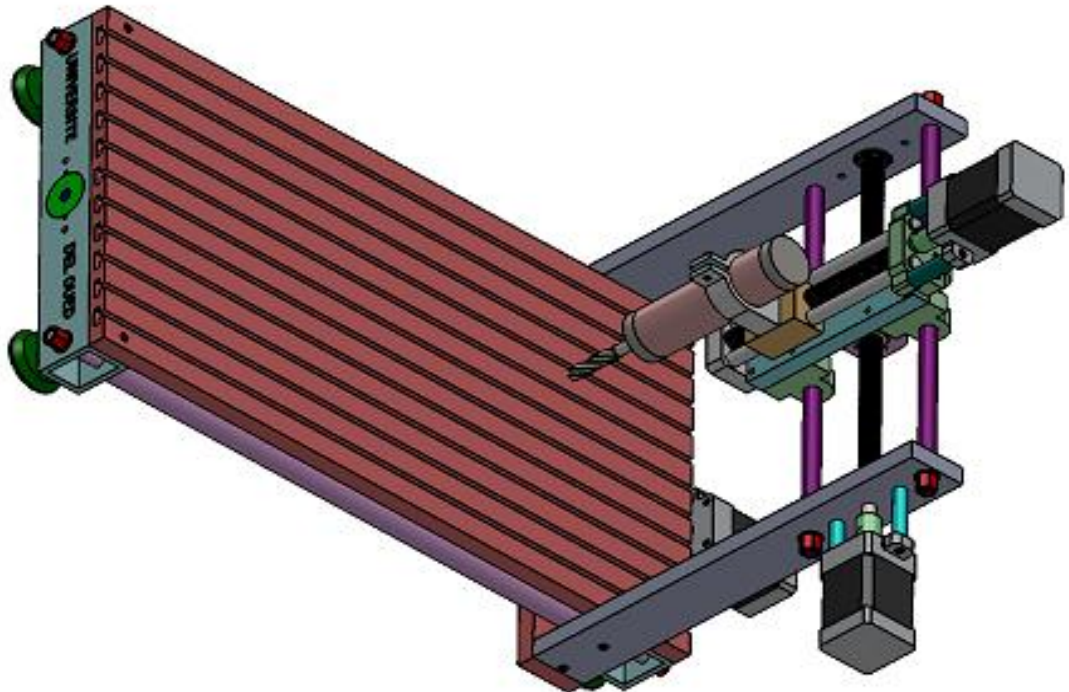


Figure 49: Machine CNC fraiseuse 3 Axe

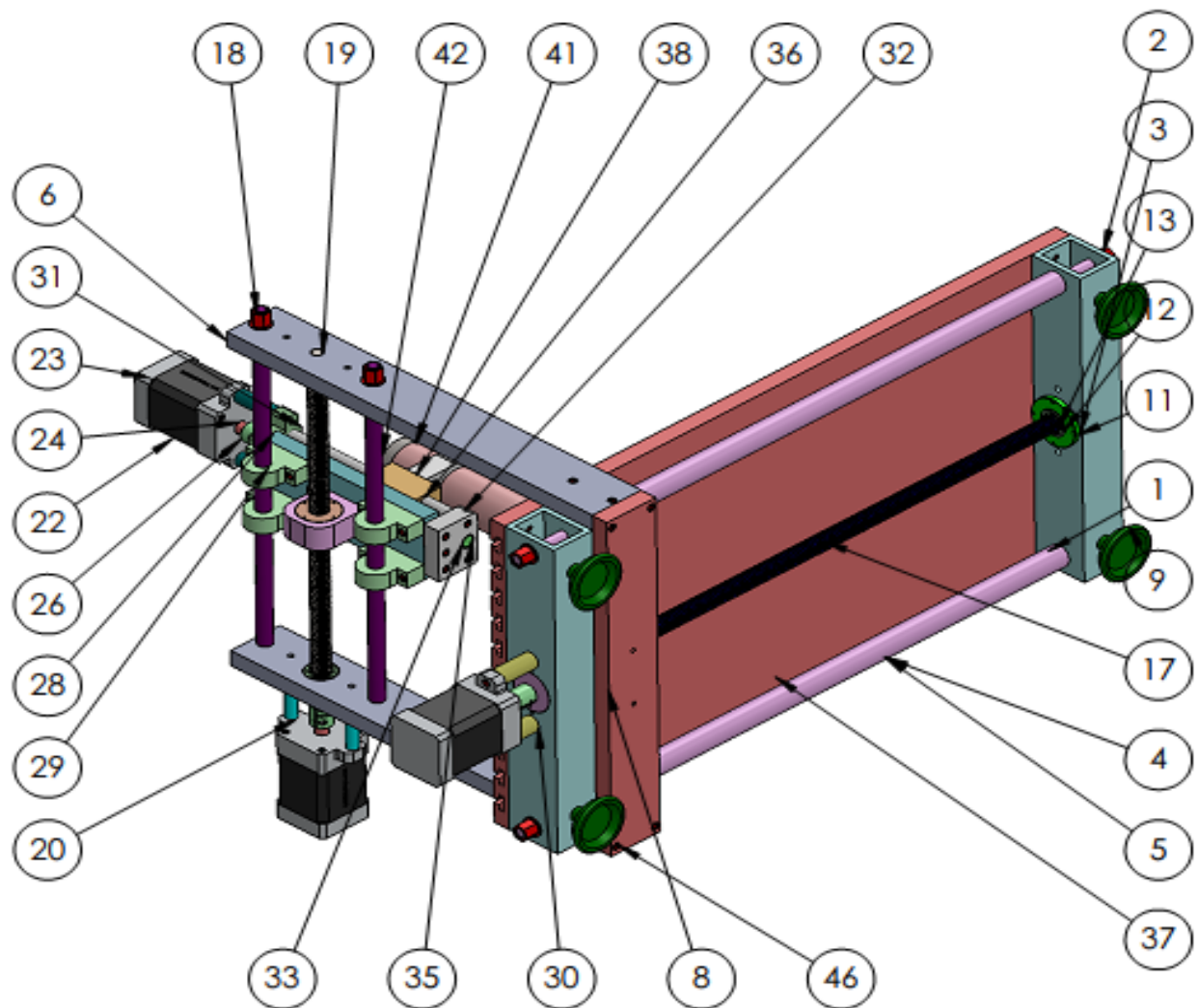


Figure 50:composants CNC

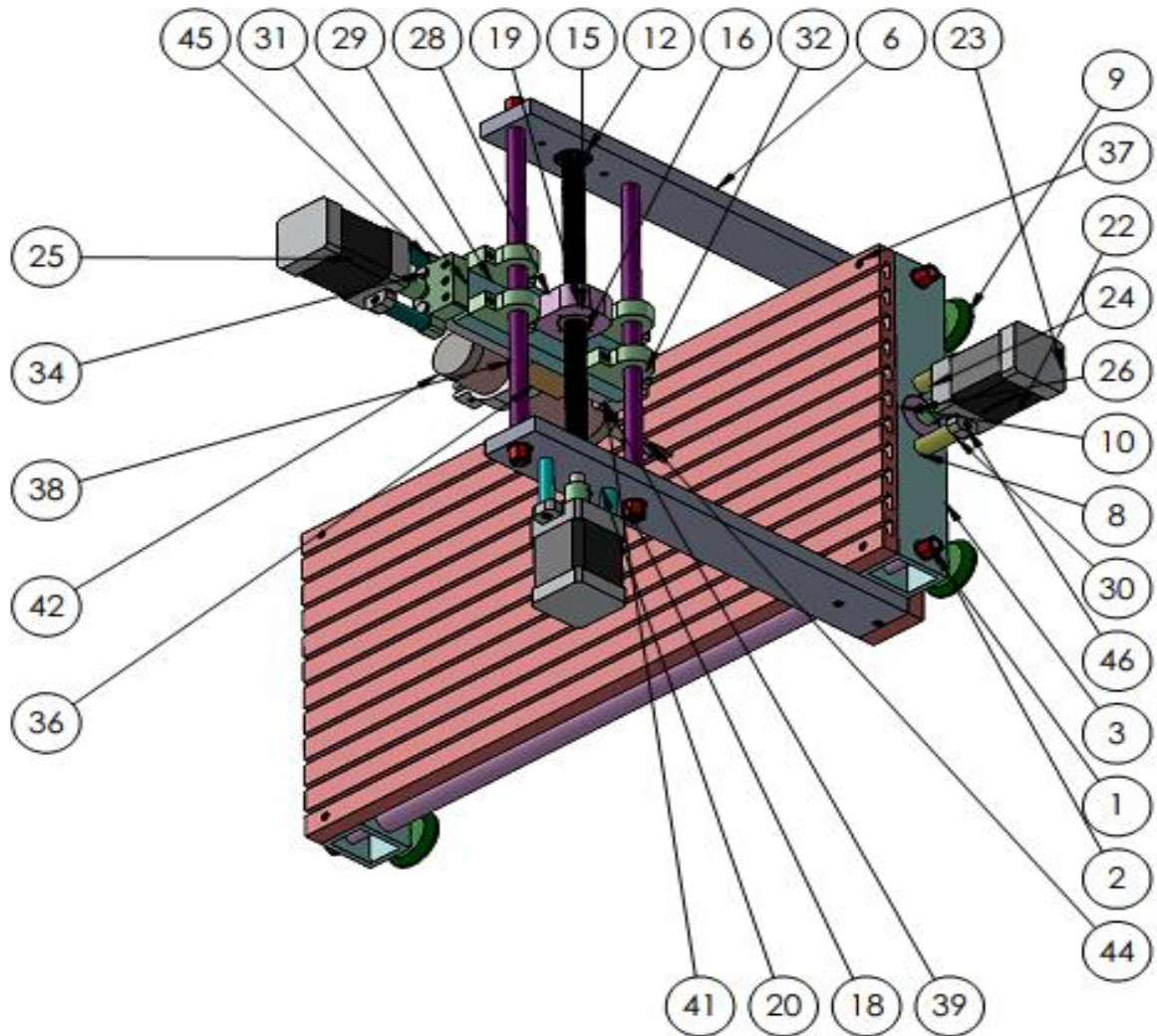


Figure 51:composants CNC

Numérotation des composants de la machine

N ^o	Destination	Matière	Qut
1	Axe de guidage	Acier A60	2
2	Ecrou de fixation	CW452K	12
3	Tube rectangulaire 600	Acier A60	2
4	Partie 7 machine CNC		1
5	Partie 8 machine CNC		1
6	Support moteur M2	Acier A60	2
7	Bague de guidage		2
8	Assembleur support M2		1
9	Pieds de socle	Acier A60	4
10	Bague centrage	CW452K	1
11	Bague centrage 2 cote de face	CW452K	1
12	Cage extérieure de roulement	100C6	4
13	Cage intérieur de roulement	100C6	4
14	Cylindre de roulement	100C6	40
15	Ecrou vis sans fin	CW452K	2
16	Support écrou vis sans fin	Acier A60	2
17	Ecrou vis	CW452K	1
18	Axe de guidage	Acier A60	2
19	Vis spirale		1
20	Bague support moteur M3	CW452K	2
21	Axe moteur	XC38	3
22	Cœur de moteur	Iron	3
23	Derrière moteur	aluminium	3
24	Interface moteur	aluminium	3
25	Boulon fixe moteur	Acier A60	12
26	Raccord flexible	XC38	3
27	Boulon de fixation	Acier A60	6
28	Support moteur M3	Acier A60	1
29	Bagues de guidage	CW452K	4
30	Support moteur M1	Acier A60	2
31	Coin M3	Acier A60	1
32	Fond de M3	Acier A60	1
33	Bague bronze	CW452K	2
34	Axe moteur 3	XC38	2
35	Vis spirale M3	XC38	1
36	Support spindl	Acier A60	1
37	Table CNC	Acier A60	1
38	Support spindl	P6 (polyamide)	1
39	Couvert inferieur	aluminium	1
40	outil	HSS	1
41	Stator spindl	aluminium	1
42	Couvert supérieur	aluminium	1
43	Pince outil	XC38	1
44	Outil de fraisage	HSS	1
45	cylindre	Acier A60	2
46	Boulon de fixation	Acier A60	39

Table 1.liste de numiration machine CNC

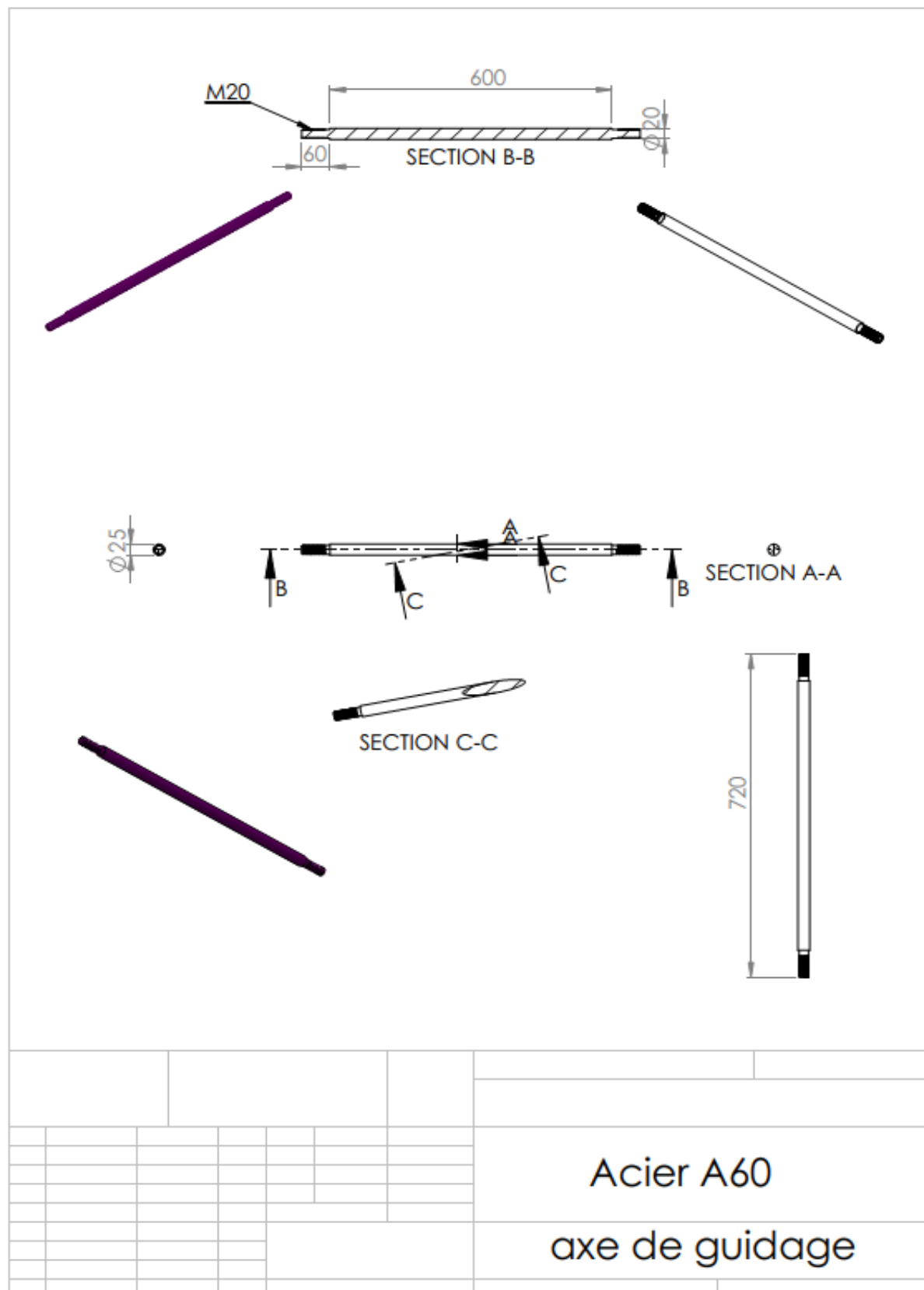


Figure 52:axe de guidage



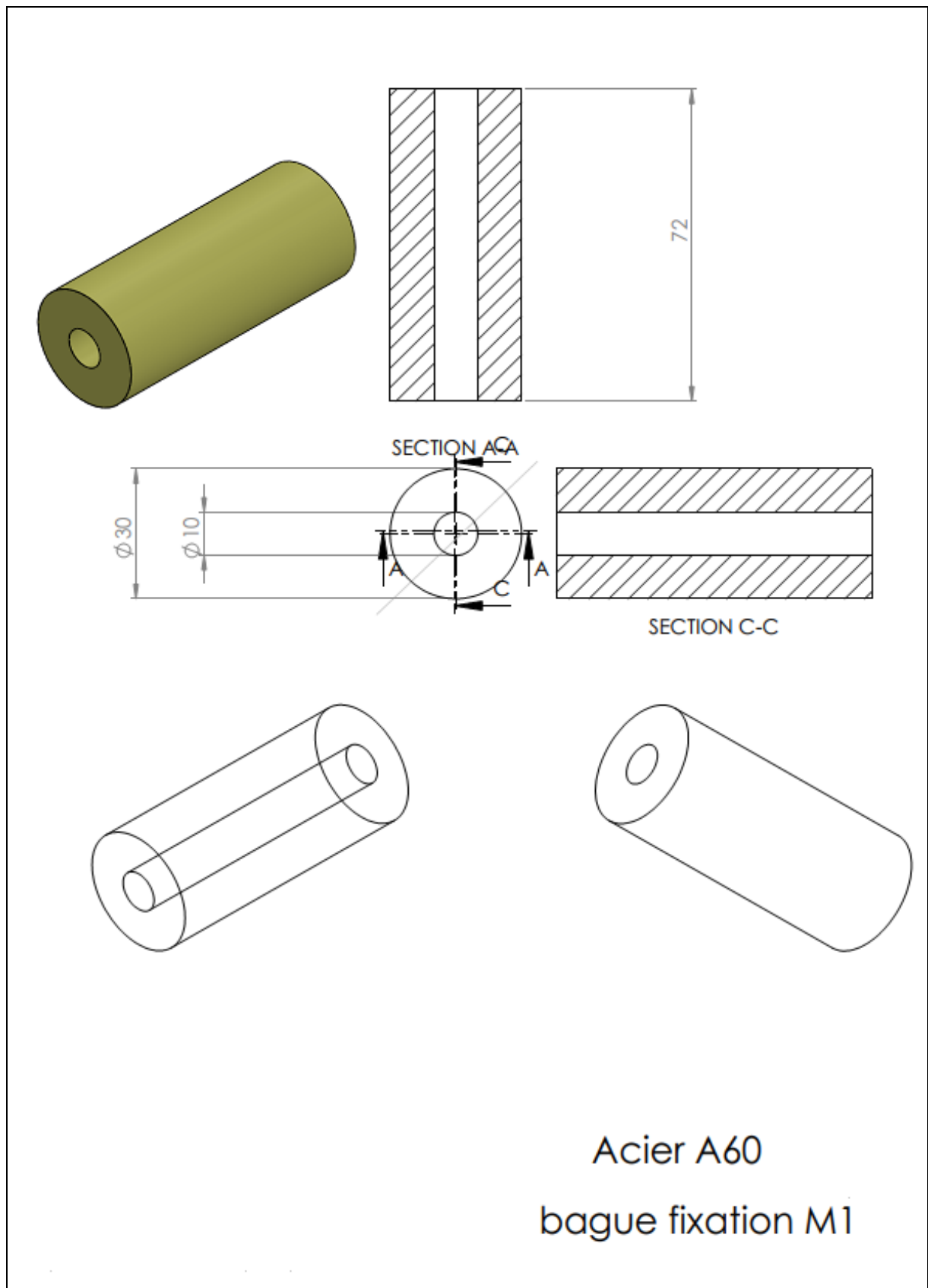
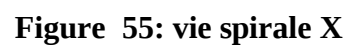


Figure 54: baugue de fixation





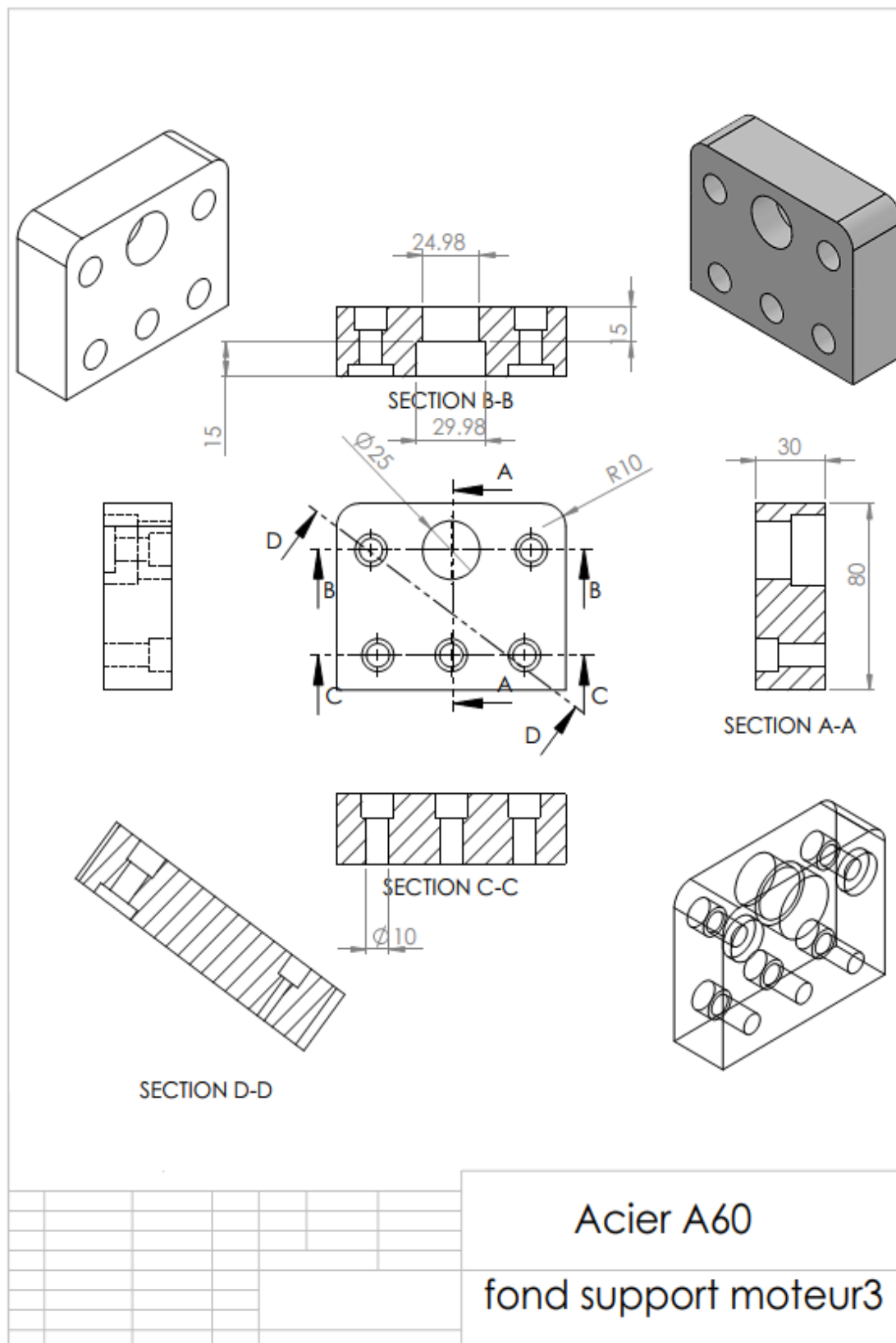
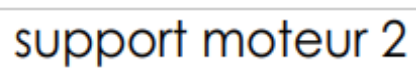


Figure 57:fond support moteur3



54



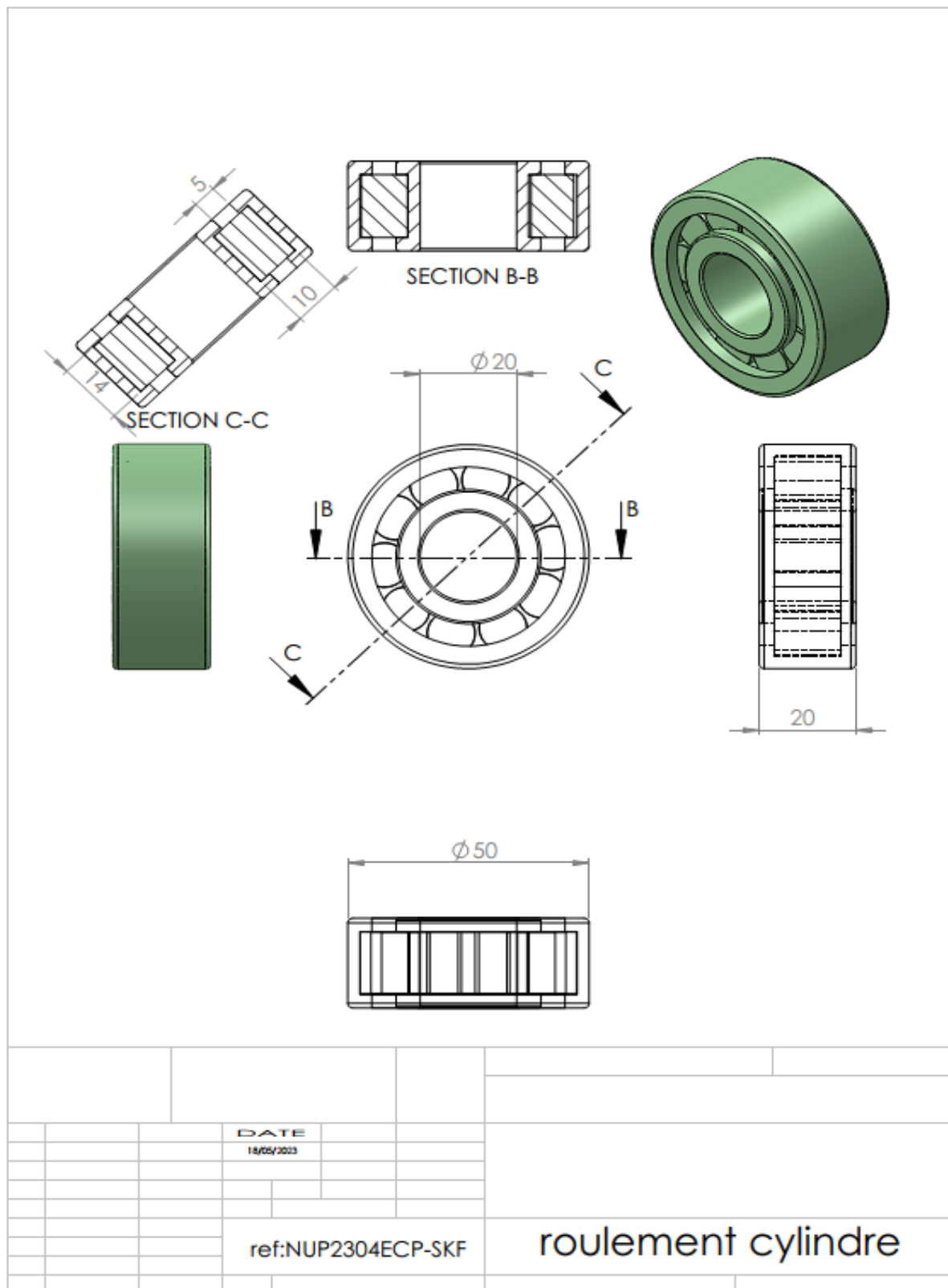
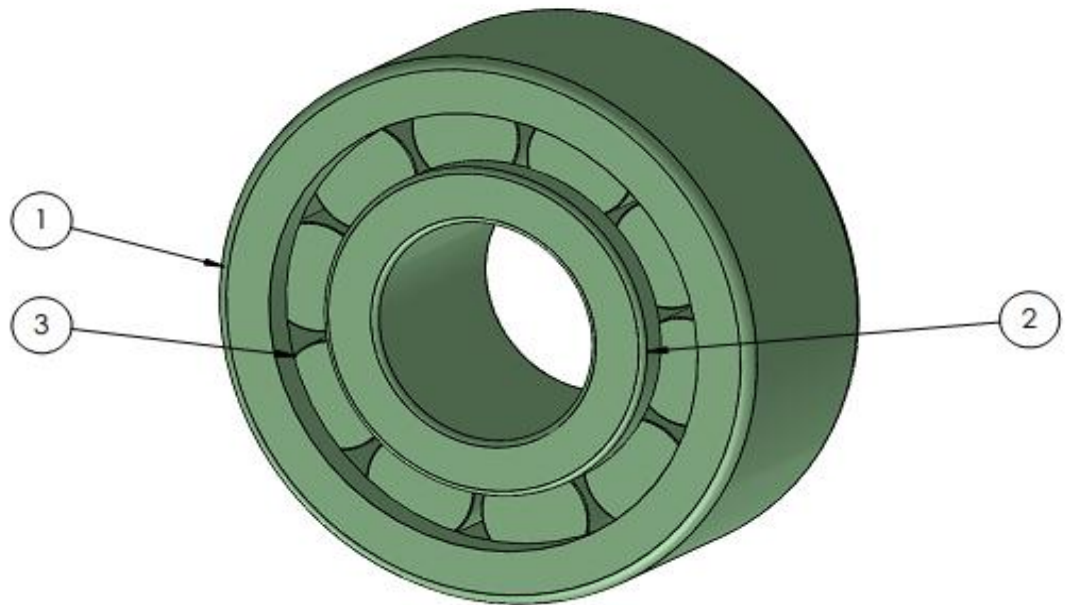


Figure 60 : Roulement cylindre



ROULEMENT

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	bague exterieure	100C6	1
2	bague interieure	100C6	1
3	cyindre	100C6	10

Figure 61 : Roulement



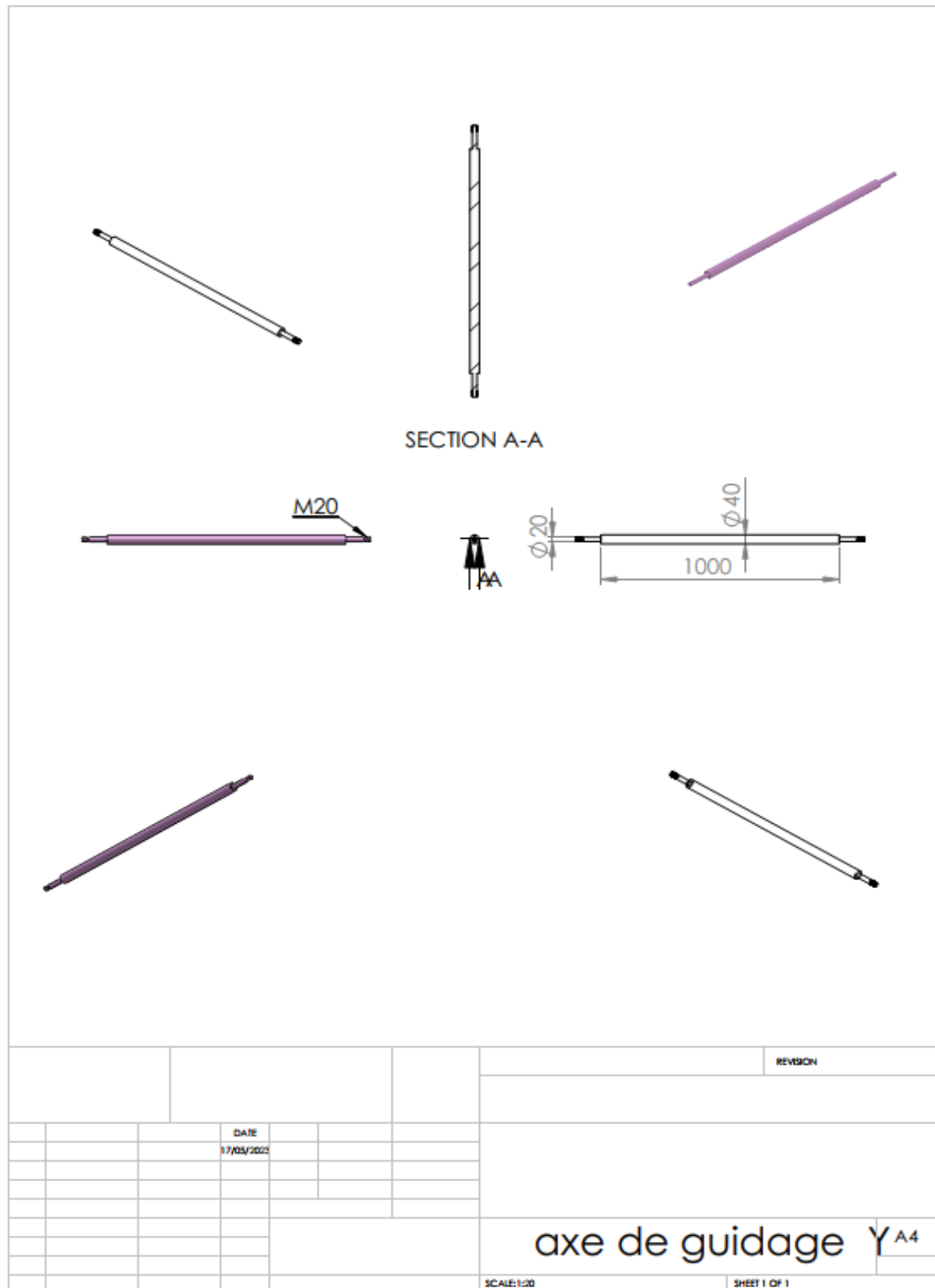


Figure 63 : axe de guidage Y



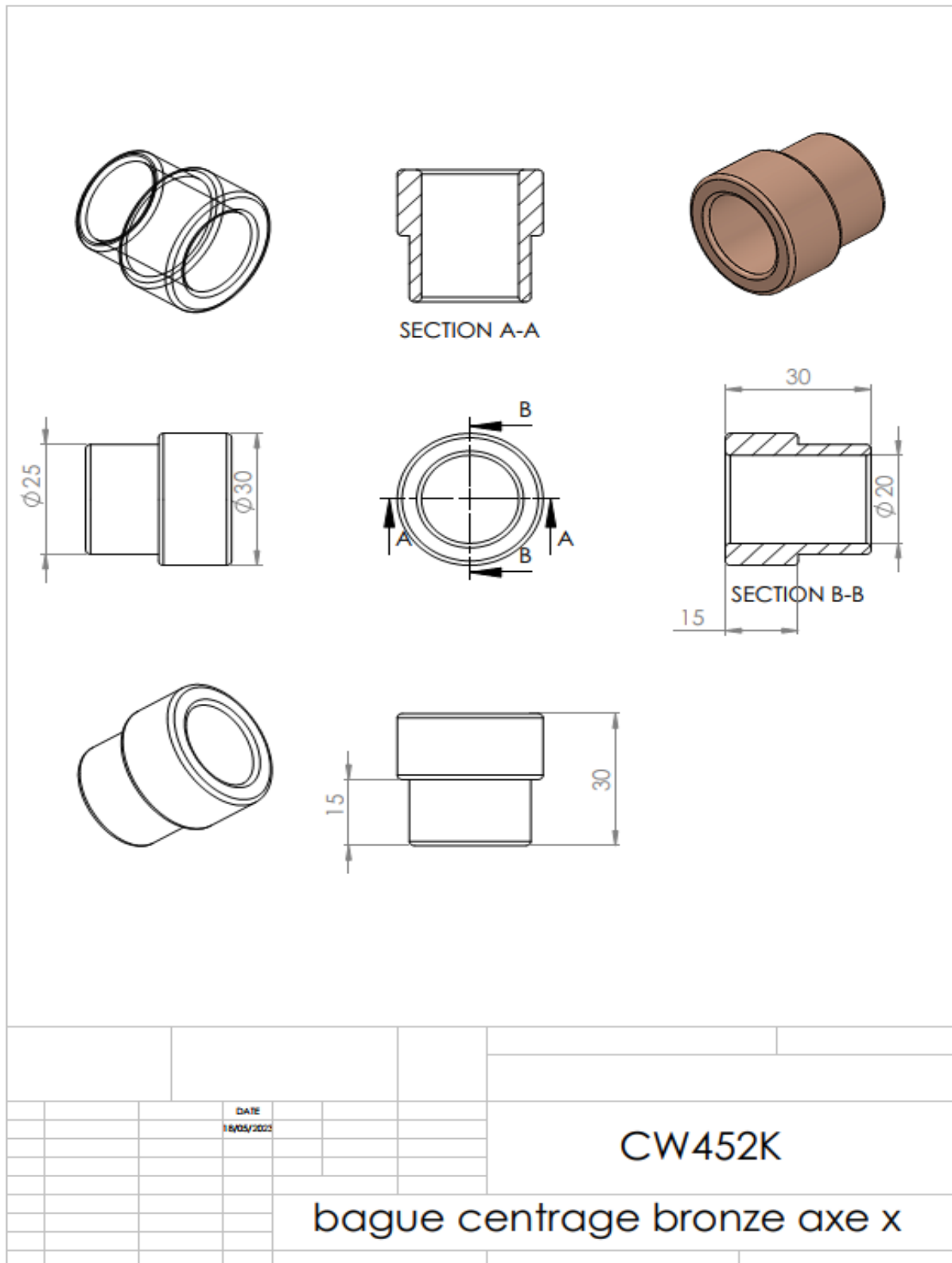


Figure 65 :bague centrage bronze axe X

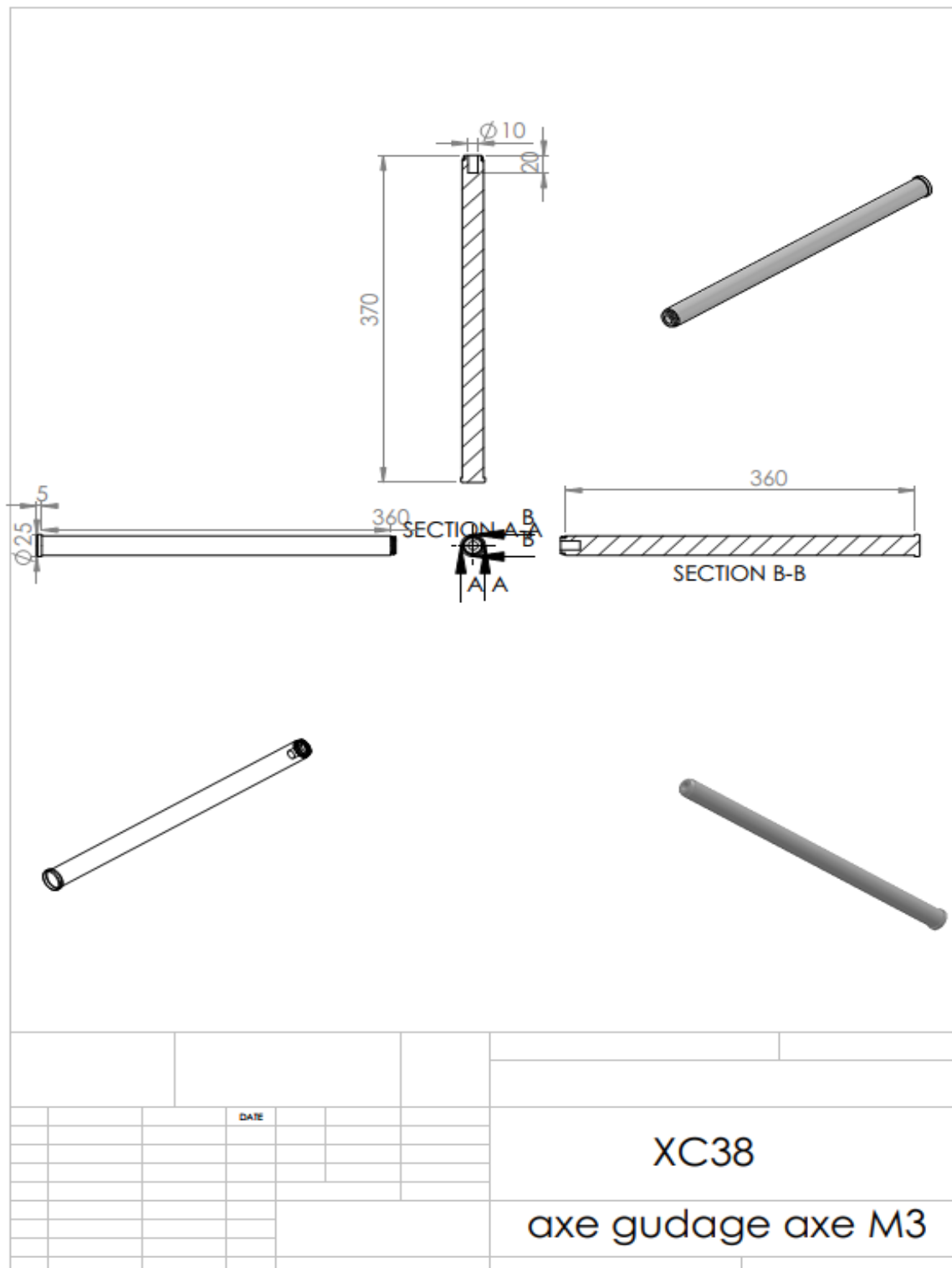


Figure 66 : axe gudage axe M3







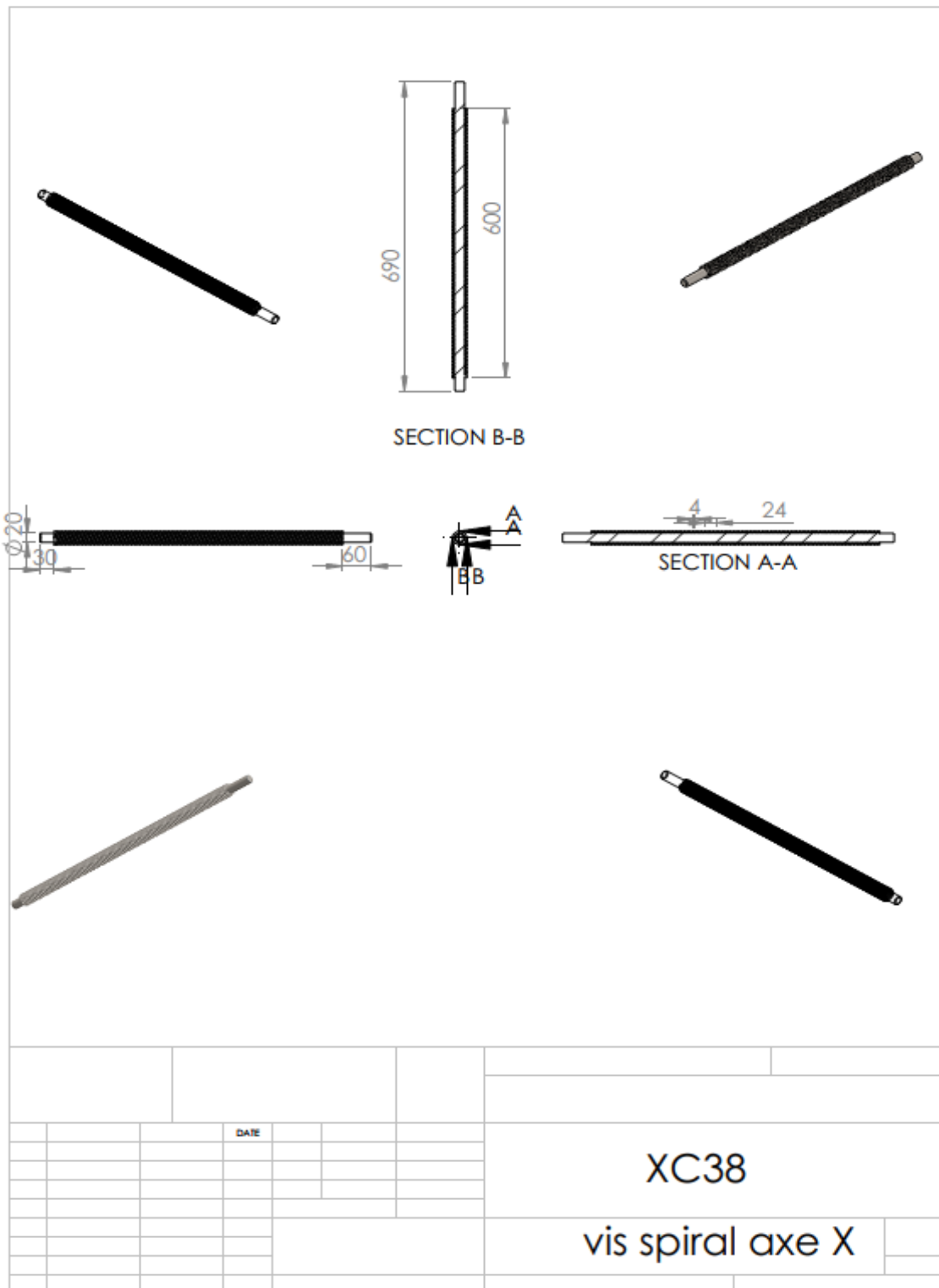


Figure 70 :vis spiral axe X

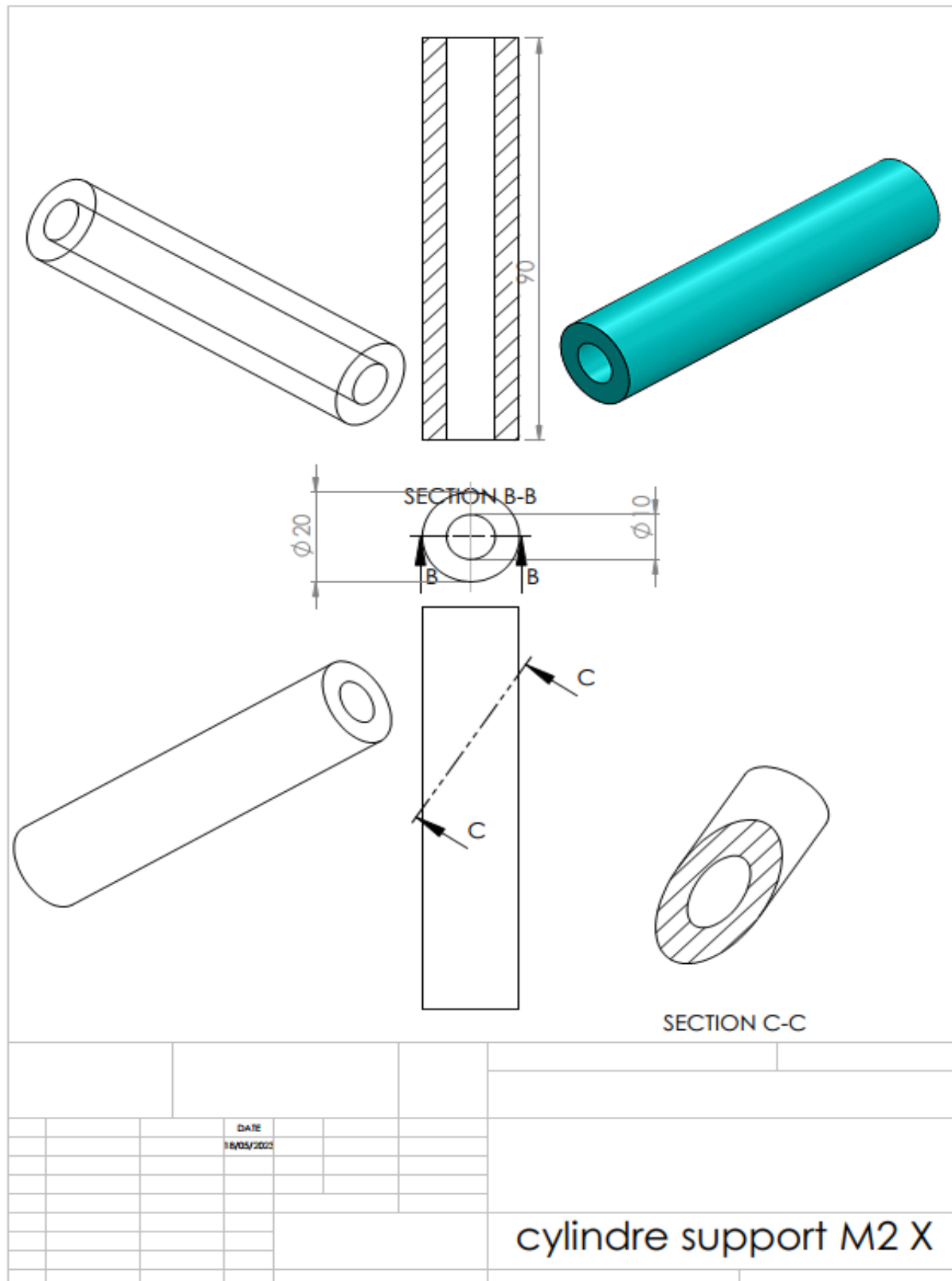
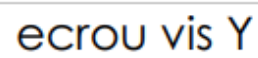


Figure 71 :cylindre support M2



68

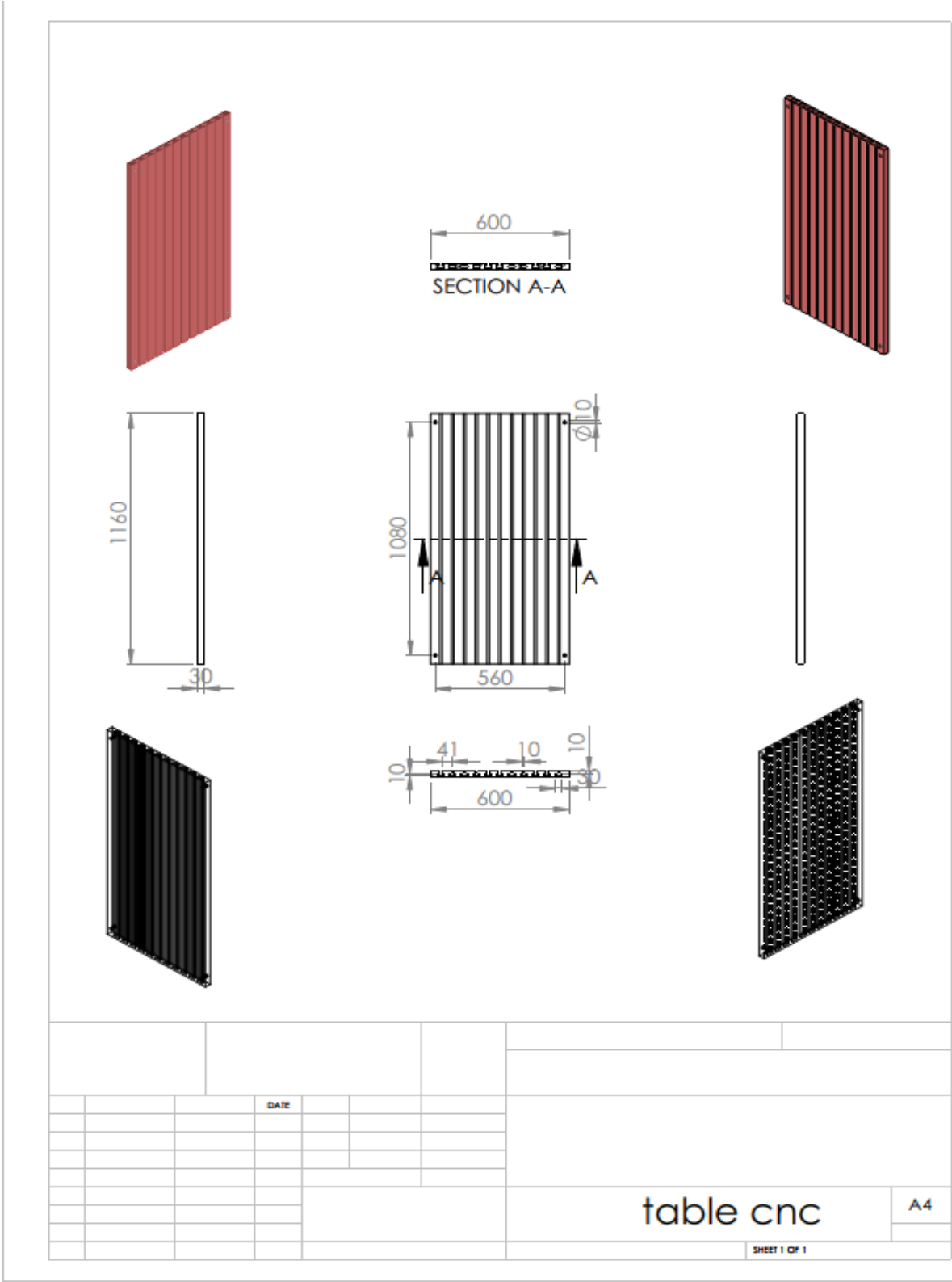


Figure 73: 3 table cnc

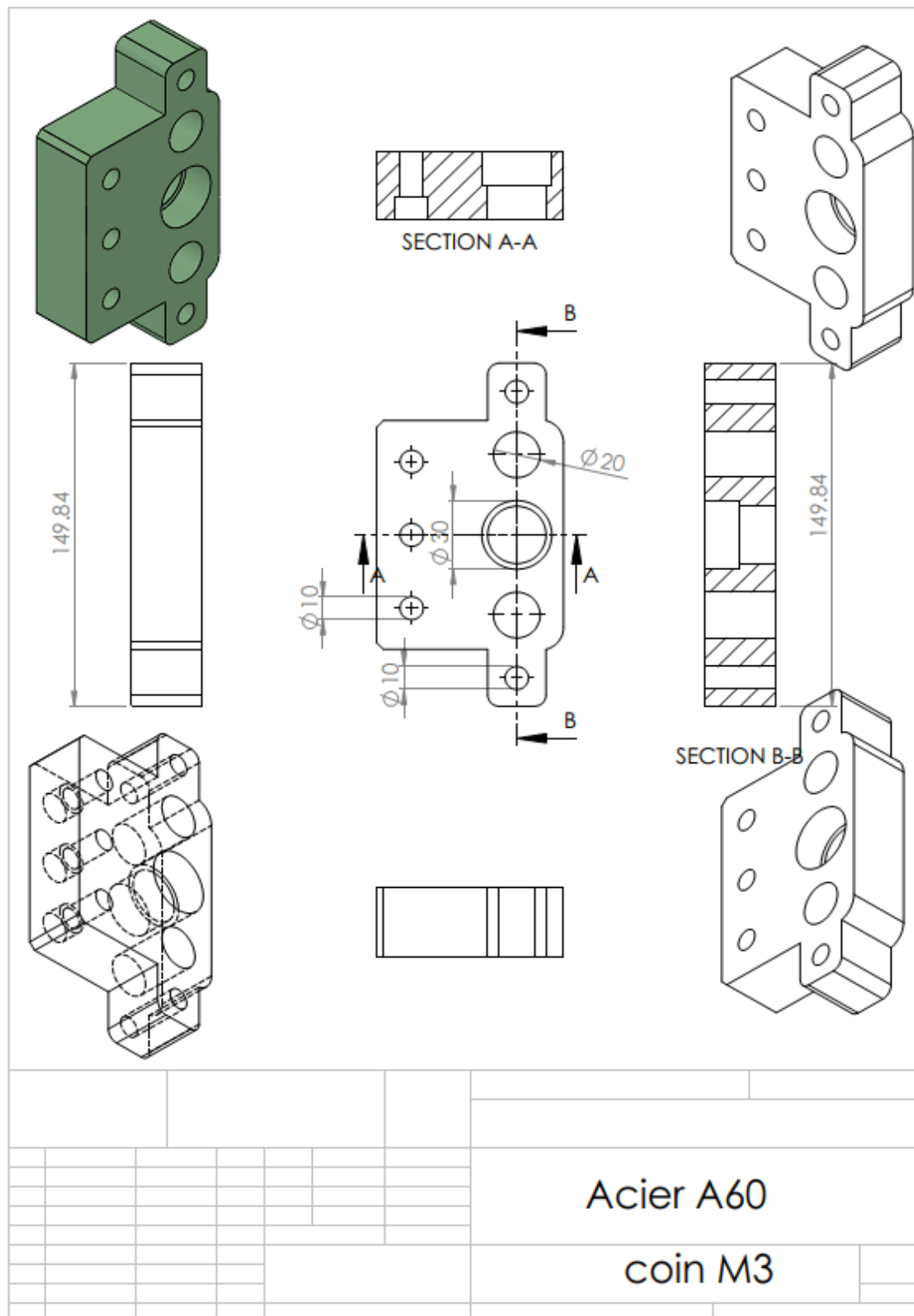
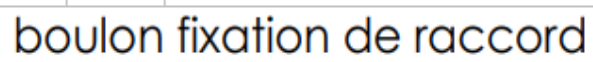
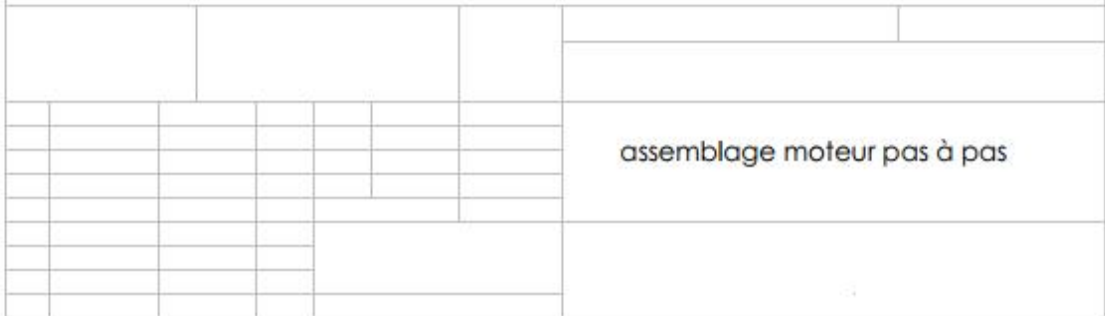


Figure 74: coin M3



71



72

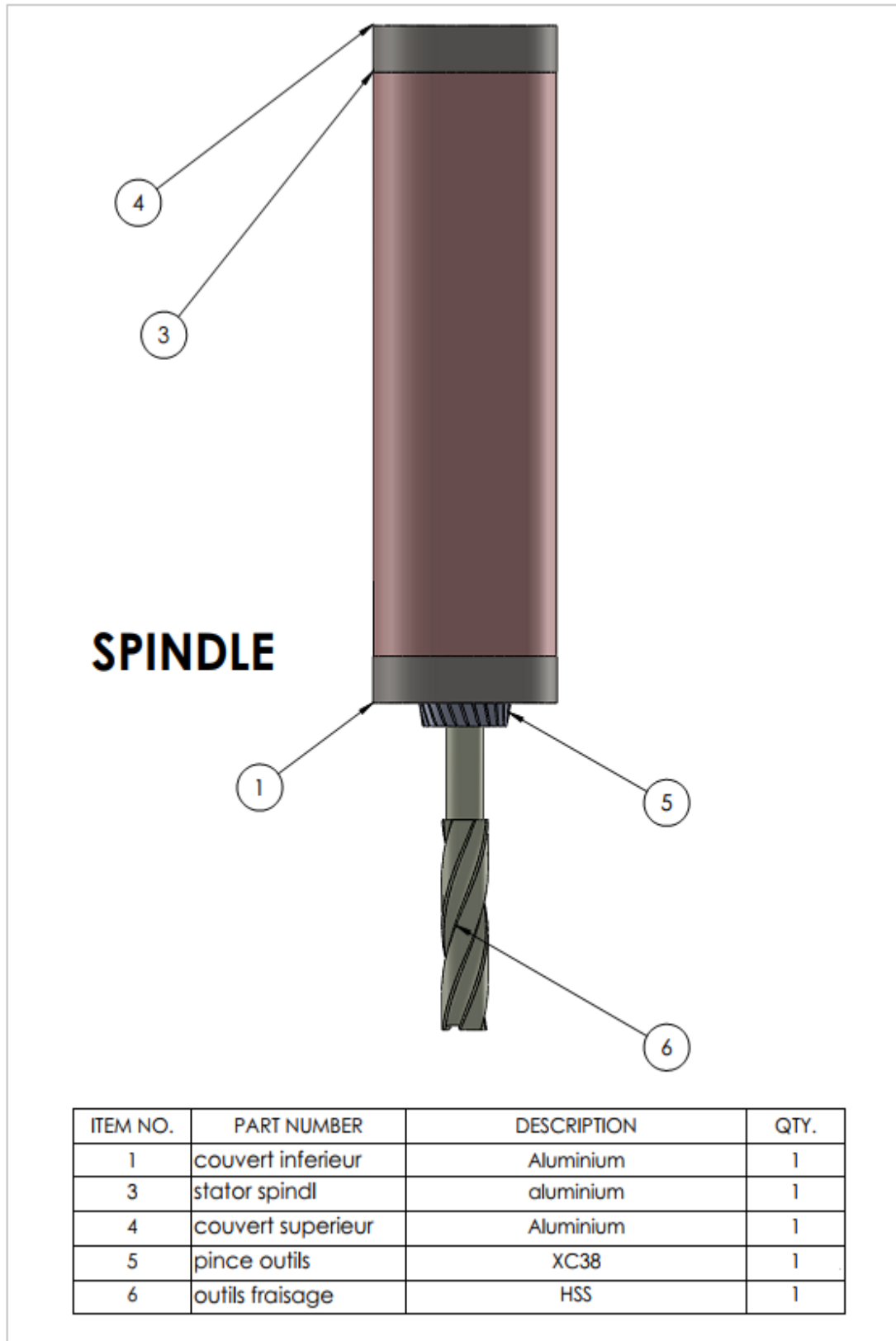


Figure 77 : spindle



***ChapitrIV:Impact des
facteurs dynamiques et
thermiques sur les
performances de la f CNC***

1.Thermique, Dynamique et Vibratoire d'une Fraiseuse CNC:

1.1. Lois thermiques dans une machine CNC:

1.1.1.Causes de l'élévation de la température :

- Frottement entre l'outil de coupe et la pièce.
- Résistance interne des moteurs.
- Lubrification insuffisante.

1.1.2.Formule de la chaleur générée par le processus d'usinage :

$$Q = F_c * V_c * t$$

- Q : énergie thermique produite (Joules)
- F_c : force de coupe (N)
- V_c : vitesse de coupe (m/s)
- t : temps (s)

1.1.2. Conséquences :

- Une température excessive peut entraîner :
- La déformation thermique de la pièce.
- La réduction de la durée de vie de l'outil.
- Une perte de précision due à l'expansion thermique.

1.2. Lois de la vitesse dans une machine CNC:

1.2.1 Vitesse de broche :

La vitesse de rotation de la broche, notée N (en tours par minute, rpm), peut être calculée en utilisant la formule suivante:

$$\frac{V \times 1000}{\pi \times D} = N$$

- N: vitesse de rotation de la broche (rpm).
- D:vitesse de coupe ou vitesse d'avance (en mm/min).
- V:diamètre de l'outil ou de la fraise (en mm).

1.2.2.vitesse d'une machine :

Pour déterminer la vitesse théorique d'une fraiseuse CNC (ou la vitesse de coupe d'une fraise), il est nécessaire de connaître les paramètres suivants:

$$\frac{RPM}{1000} \times d \times \pi = V$$

Diamètre de l'outil (d) : en millimètres (mm).

Nombre de tours par minute (RPM) : en tours par minute.

Vitesse (V) : est la vitesse de coupe en mètres par seconde (m/s).

1.3. Lois des vibrations dans une machine CNC:

1.3.1.Fréquence naturelle :

$$F_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

- F_N : fréquence naturelle (Hz)
- k : raideur du système (N/m)
- m : masse (kg)

1.3.2.Analyse :

- Si la vitesse de fonctionnement approche la fréquence naturelle, un phénomène de résonance peut survenir :
 - Mauvaise qualité de surface.
 - Casse de l'outil.
 - Dysfonctionnement global.

Conclusion Générale

Dans ce travail, nous avons abordé le sujet de la conception d'une machine à milling numérique (CNC) en utilisant des logiciels de conception et fabrication assistées par ordinateur (CAO/FAO). Ces logiciels facilitent énormément le processus de fabrication en permettant des conceptions précises, flexibles et sûres, tout en réduisant les erreurs humaines, le gaspillage de matières premières et en réalisant des économies de temps et d'énergie.

Dans ce projet, nous avons tenté de combiner l'aspect théorique, consistant à comprendre les principes fondamentaux du fonctionnement des machines à commande numérique, avec l'aspect pratique consistant à réaliser le modèle tridimensionnel de la machine à l'aide du logiciel SolidWorks. Cette synthèse nous a permis d'obtenir une vision globale de la structure générale de la machine, d'identifier les méthodes d'assemblage de ses composants et de comprendre les dimensions et les ajustements mécaniques entre les différentes pièces. Cette étape est essentielle avant de procéder à la mise en œuvre industrielle.

Bien que le travail ne soit pas allé en profondeur dans les simulations dynamiques ou l'analyse des contraintes et des mouvements, la conception en elle-même constitue une étape préliminaire vers la création d'un modèle fonctionnel et évolutif, notamment en cas d'intégration avec un système de contrôle électronique.

Nous espérons que ce travail pourra servir de référence pratique pour les chercheurs et les étudiants, et qu'il ouvrira la voie à des projets futurs plus avancés dans les domaines de la mécanique appliquée et de la fabrication numérique.

Références bibliographiques

- [1]-<https://www.technologue pro.com> .
- [2]-<https://www.technologue pro.com> .
- [3]-<https://www.technologue pro.com> .
- [4]-<https://www.technologue pro.com> .
- [5]-<https://www.technologue pro.com>, cours production numérique .
- [6]- <https://www.technologue pro.com>, cours production numérique .
- [7]- <https://www.technologue pro.com>, cours production numérique .
- [8]-<https://teum.umc.sdu.dz/> Dr : ZahiaHessainia Université Des Frères Mentouri Constantine 1.
- [9]-cours machines-outils commande numérique université 08 mais 1945 Galma.
- [10]-Conception assistée par ordinateur
<http://www.lyrfac.com/soutiens/knbase/pdf/cao.pdf>.
- [11]- Fraiseuse : El-walidEmbalage.
- [12]- Table traçante : El-walidEmbalage.
- [13]- Découpage laser : El-walidEmbalage.
- [14]- cintreuse : El-walidEmbalage.
- [15]-Etude et réalisation d'une machine a trois axe université Bejaïa.
- [16]-Mémoire « Conception e et réalisation d'une machine a trois axe » université Blida1.
- [17]-Mémoire « Conception e et réalisation d'une machine a trois axes. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOUSoutenu publiquement le 17/09/ 2015.
- [18]-<https://www.uni-usto.dz>.
- [19]- <https://www.uni-usto.dz>.
- [20]- <https://www.uni-usto.dz>
- [21]-<https://www.uni-usto.dz>.
- [22]-<https://fr.wikipedia.org>.
- [23]-<https://www.Journaldunet.com>.
- [24]-coursCFAOmachines.<https://elearnig enp oran.dz>.
- [25]-<https://universentreprises.fr>.
- [26]- <https://universentreprises.fr>.
- [27]- Structure générale de machine programmé.baba-blog.com.
- [28]-<https://docplay.fr>.
- [29]- Implantation des axes. Cours machines-outils commande numérique université 08 mais 1945 Galma.

[30]-<https://elearning.univ-msila.dz>.

[31]-<https://telum.umc.edu.dz>.

[32]-[https : store.yousr.sa](https://store.yousr.sa).

[33]-[https ://fr.wikipedia.org](https://fr.wikipedia.org).

[34]-<https://www.brooonzyah.net>.

[35]-<https://paseet.com>.