



Faculty of Sciences and Technology
Department of Mechanical Engineering

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الميكانيكية

N° d'ordre : M...../GM/2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Thème

Automatisation D'une Perceuse à Colonne

Présenté par :

❖ BENSALAH Nadir

Soutenu le 26 / 09 / 2024 devant le jury composé de :

Président	Dr. BENKABOUCHE S. Eddine	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Mr. BENAÏSSA Mohamed	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Pr. ZENASNI Ramdane	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2023 / 2024

Remerciement

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à **Pr. ZENASNI Ramdane**, mon encadreur, pour sa disponibilité, ses conseils précieux et son soutien indéfectible tout au long de la réalisation de ce mémoire. Son expertise et son encouragement ont grandement contribué à l'accomplissement de ce travail.

Je remercie également **Dr. BENKABOUCHE Salah Eddine**, président du jury, ainsi que **Mr. BENAÏSSA Mohamed**, membre du jury, pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire et pour leurs remarques constructives qui ont permis de l'améliorer.

Mes remerciements s'adressent aussi à **Dr. OULD SAID Belkacem**, chef du département, pour son soutien institutionnel, ainsi qu'à **Dr. GHEZZAR Mouffok Redouane**, doyen de la faculté, pour l'ensemble des moyens mis à disposition pour le bon déroulement de mes études.

Enfin, je remercie chaleureusement ma famille, mes amis et tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin durant ce parcours.

Dédicace

À mes chers parents,

Vous êtes la source de ma force, de mon courage et de ma persévérance. Vos sacrifices innombrables, votre amour sans limites, et votre confiance indéfectible en moi ont été les piliers sur lesquels j'ai bâti mon parcours. Aucun mot ne suffira jamais à exprimer la gratitude que je vous dois. Ce travail est autant le vôtre que le mien.

À mes frères et sœur,

Pour votre soutien constant, vos encouragements silencieux, et votre présence rassurante dans les moments de doute. Vous avez su être là dans chaque étape, et je vous en suis infiniment reconnaissant.

À mes amis,

Pour les moments de partage, les rires, et vos précieux conseils. Vous avez su me redonner le sourire quand les journées étaient longues et me rappeler de rester fidèle à moi-même.

À toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à ce cheminement, Je vous dédie ce travail, en reconnaissance de vos encouragements, de votre confiance, et de vos paroles bienveillantes qui ont illuminé mon parcours.

Résumé

Ce mémoire présente l'automatisation d'une perceuse à colonne, avec pour objectif d'améliorer la précision, l'efficacité et la flexibilité dans les processus de fabrication industrielle. L'utilisation manuelle des perceuses à colonne limite la répétabilité et l'exactitude, en particulier pour les tâches de perçage complexes ou répétitives. Pour pallier ces contraintes, ce projet propose l'intégration d'une table croisée automatisée, permettant un contrôle précis des axes X et Y. L'étude évalue différentes solutions d'automatisation, notamment les systèmes de guidage linéaire, les vis à billes et les moteurs pas à pas. Les composants sélectionnés sont analysés en fonction de leur capacité de charge, durabilité et compatibilité avec le système mécanique. En automatisant la perceuse à colonne, le système améliore la précision des opérations d'usinage, réduit l'intervention manuelle et augmente l'efficacité globale de la production en atelier.

Abstract

This thesis presents the automation of a column drill machine, focusing on enhancing its precision, efficiency, and flexibility in industrial manufacturing processes. The manual operation of column drills limits repeatability and accuracy, especially for complex or series drilling tasks. To address these limitations, this project proposes the integration of an automated cross table system, enabling precise control over the X and Y axes. The study evaluates different solutions for automation, including linear guiding systems, ball screws, and stepper motors. The selected components are carefully analyzed for their load capacity, durability, and compatibility with the mechanical system. By automating the column drill, the system improves machining accuracy, reduces manual intervention, and increases the overall production efficiency in the workshop environment.

ملخص:

تقدم هذه المذكرة مشروع أتمتة ماكينة الحفر العمودية بهدف تحسين الدقة والكفاءة والمرونة في عمليات التصنيع الصناعي. إن التشغيل اليدوي لماكينات الحفر العمودية يحد من التكرارية والدقة، خاصةً في المهام المعقدة أو المتكررة. للتغلب على هذه القيود، يقترح هذا المشروع دمج طاولة متقاطعة مؤتمتة، تُمكن من التحكم الدقيق في المحورين X و Y. تتناول الدراسة تقييم الحلول المختلفة للأتمتة، بما في ذلك أنظمة التوجيه الخطي، البراغي الكروية، والمحركات الخطوة. تم تحليل المكونات المختارة بناءً على قدرتها على التحمل، والمتانة، والتوافق مع النظام الميكانيكي. من خلال أتمتة ماكينة الحفر العمودية، يعمل النظام على تحسين دقة عمليات التشغيل، وتقليل التدخل اليدوي، وزيادة الكفاءة العامة للإنتاج في بيئة الورش.

Liste des Figures

Fig. I.1. Machine Perceuse.....	3
Fig. I.2: Formes obtenus par perçage	5
Fig. I.3: Perceuse à colonne.	5
Fig. II.4: Douille de guidage.	11
Fig. II.5: Rail de guidage.	13
Fig. II.6: Chaîne à rouleaux.	14
Fig. II.7: Vis à bille.....	16
Fig. II.8: Vis-écrou.	18
Fig. II.9: Moteur Pas à pas.	19
Fig. II.10: Servomoteur.....	21
Fig. II.11: Écrou à bille Type FBI	24
Fig. II.12: Vis à billes FBI 10×4	24
Fig. II.13. Vue de face de douille à bille SM 10-AJ.....	26
Fig. II. 14. Vue de dessus de douille à bille SM 10-AJ	26
Fig. II.15. Vue 3D de douille à bille SM 10-AJ.....	26
Fig. II.16: Driver DM542	28
Fig. II. 17. Vue de gauche de la table	28
Fig. II. 18. Vue de dessus de la table	28
Fig. II. 19 vue de dessous de la table.....	28
Fig. II. 20. Vue de face de la table	28
Fig. II. 21. Vue 3D de la table.....	28
Fig. II. 22. Vue 3D de la table.....	28

Table des matières

Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralité sur l'automatisation des processus de fabrication	3
I.1. Introduction.....	3
I.2. Principe du perçage.....	3
I.3. Formes obtenues par perçage	4
• Perçage simple (Fig. I.2.a).....	4
• Alésage (Fig. I.2.b)	4
• Fraisage (Fig. I.2.c).....	4
• Lamage (Fig. I.2.d)	4
• Taraudage (Fig.I.2.e).....	4
I.4. La perceuse à colonne	5
I.4.1. Principaux composants d'une perceuse à colonne	6
• Base	6
• Colonne	6
• Tête	6
• Broche	6
• Mandrin	6
• Manette d'avance.....	6
• Poignée.....	6
I.4.2. Fonctionnement de la perceuse a colonne.....	6
I.4.3. Avantages d'une perceuse à colonne.....	7
• Précision	7
• Profondeur	7
• Puissance	7
• Sécurité.....	7
I.4.4. Utilisations d'une perceuse à colonne	7
I.5. La perceuse radiale	7
I.5.1. Principaux composants d'une perceuse radiale	8
• Base	8
• Colonne	8
• Bras radial.....	8
• Tête	8
• Broche	8

• Mandrin	8
• Table.....	9
• Manette d'avance	9
• Poignée	9
I.5.2. Fonctionnement d'une perceuse radiale	9
I.5.3. Avantages d'une perceuse radiale	9
• Flexibilité	9
• Capacité.....	9
• Puissance	9
• Précision	10
I.5.4. Utilisations d'une perceuse radiale	10
Chapitre II : Etude et Conception du système automatisé.....	11
II.1. Introduction	11
II.2. Diverses solutions suggérées	11
II.2.1. Système de guidage	11
II.2.1.1. Douilles à billes	11
II.2.1.2. Avantages des douilles de guidage	12
II.2.1.3. Inconvénients des douilles de guidage.....	12
II.2.2. Rails de guidage	12
II.2.2.1. Avantages des rails de guidage.....	13
II.2.2.2. Inconvénients des rails de guidage	13
II.2.3. Systèmes de transmission (suivant l'axe X et Y).....	14
II.2.3.1. Les chaînes à rouleaux	14
a. Avantages des chaînes à rouleaux :.....	15
b. Inconvénients des chaînes à rouleaux :	15
II.2.3.2. Vis à billes.....	16
a. Avantages des vis à billes :	16
b. Inconvénients des vis à billes :.....	17
II.2.3.3. Système vis-écrou.....	18
a. Avantages du système vis-écrou :	18
b. Inconvénients du système vis-écrou :.....	19
II.2.4. Type des moteurs.....	19
II.2.4.1. Moteur pas à pas	19
a. Avantages du moteur pas à pas :	20
b. Inconvénients du moteur pas à pas :.....	20

II.2.4.2. Servomoteur	21
a. Avantages du servomoteur :.....	21
b. Inconvénients du servomoteur :	22
II.3. Choix des éléments.....	23
II.3.1. Vis à bille	23
II.3.1.1. Critères de sélection.....	23
a. Précision.....	23
b. Efficacité.....	23
c. Durabilité	23
II.3.1.2. Calcul de dimensionnement selon l'axe Y	23
II.3.1.3. Calcul de dimensionnement selon l'axe X :	24
II.3.2. Douilles de guidage :	25
II.3.2.1. Critères de sélection :	25
a. Compatibilité avec la vis à bille :	25
b. Capacité de charge :	25
c. Précision et faible jeu :	26
d. Durabilité et maintenance :	26
II.3.3. Moteur pas à pas :	26
II.3.3.1. Caractéristiques principales du moteur :	27
II.3.3.2. Avantages du NEMA 23 :	27
II.3.4. Driver :	28
II.4. Description de la table :	28
II.4.1. Structure et Composants	29
II.4.2. Système de guidage	29
II.4.3. Motorisation et contrôle	29
II.4.4. Utilisation et avantages	29
II.5. Conclusion.....	30
References bibliographies.....	32

Introduction Générale

Introduction Générale

L'évolution rapide des technologies industrielles au cours des dernières décennies a conduit à une transformation radicale des méthodes de production et des processus de fabrication dans de nombreux secteurs. L'automatisation, en particulier, joue un rôle fondamental dans cette révolution industrielle. Elle permet d'optimiser les opérations de fabrication en augmentant la productivité, la précision, et en réduisant les coûts de main-d'œuvre, tout en minimisant les erreurs humaines. De nos jours, l'automatisation n'est plus une option, mais une nécessité pour les entreprises souhaitant maintenir leur compétitivité sur le marché mondial. Cette tendance est particulièrement visible dans le domaine du génie mécanique, où les machines-outils jouent un rôle central dans la production de pièces de haute précision.

Dans ce contexte, les machines-outils telles que les perceuses à colonne occupent une place de choix. Elles sont couramment utilisées dans les ateliers de fabrication pour percer des matériaux variés tels que le métal, le bois ou le plastique. Leur capacité à effectuer des perçages précis en fait un outil indispensable dans de nombreuses applications industrielles. Cependant, malgré leur efficacité, l'utilisation manuelle des perceuses à colonne présente certaines limites. Le manque de répétabilité et de précision, en particulier pour les tâches nécessitant des perçages multiples ou des séries de perçages complexes, constitue un obstacle majeur dans les environnements de production moderne, où la qualité et la productivité sont des impératifs.

C'est dans cette optique que le projet d'automatisation de la perceuse à colonne prend tout son sens. L'objectif de ce projet est de transformer une perceuse à colonne classique en une machine semi-automatisée, capable de réaliser des perçages avec une plus grande précision et de manière plus rapide, tout en réduisant l'intervention humaine. Pour atteindre cet objectif, l'intégration d'une table croisée automatisée est proposée. Cette solution permet de contrôler automatiquement les mouvements de la pièce à usiner le long des axes X et Y, offrant ainsi une plus grande flexibilité lors des opérations de perçage. En outre, l'automatisation des mouvements de la perceuse à colonne apporte de nombreux avantages, tels que l'amélioration de la répétabilité, la réduction des erreurs humaines, et une augmentation significative de la productivité.

L'implémentation de cette table croisée repose sur des composants mécaniques et électroniques sophistiqués. Les systèmes de guidage linéaire, les vis à billes et les moteurs pas à pas sont des éléments clés dans ce processus d'automatisation. Chacun de ces composants a été soigneusement sélectionné pour assurer une précision optimale, une grande durabilité et une

compatibilité parfaite avec la structure existante de la perceuse à colonne. Par ailleurs, l'automatisation permet également de minimiser l'usure des pièces mécaniques en réduisant les frottements, tout en optimisant l'efficacité énergétique des opérations de perçage.

Ce projet se situe donc à l'intersection de plusieurs disciplines du génie mécanique, telles que la conception mécanique, l'automatisation des systèmes de production et l'électronique. Le développement de systèmes automatisés dans le domaine des machines-outils représente un enjeu crucial pour les entreprises cherchant à améliorer la qualité et l'efficacité de leurs procédés de fabrication. Grâce à ce projet, il est possible non seulement de répondre aux exigences croissantes du marché en termes de précision et de productivité, mais aussi de réduire les coûts de production et de maintenance à long terme.

Ce mémoire propose donc d'analyser en détail les différentes solutions techniques mises en œuvre pour automatiser une perceuse à colonne. Il s'articulera autour de plusieurs axes, à commencer par une étude des composants essentiels pour l'automatisation, tels que les systèmes de guidage et de transmission. Ensuite, la conception et la mise en œuvre de la table croisée seront expliquées en détail, suivies d'une analyse des résultats obtenus en termes de précision et de performance. Enfin, une discussion sur les améliorations potentielles et les perspectives d'avenir dans le domaine de l'automatisation des machines-outils sera présentée.

Ainsi, ce projet contribue non seulement à l'avancée technologique dans le domaine des perceuses à colonne, mais il ouvre également la voie à d'autres possibilités d'automatisation dans les ateliers de fabrication mécanique. Les résultats obtenus pourraient servir de base pour des recherches futures visant à automatiser d'autres types de machines-outils, ce qui renforcerait davantage l'efficacité des systèmes de production industriels.

Chapitre I
Généralité sur
l'automatisation des
processus de fabrication

Chapitre I : Généralité sur l'automatisation des processus de fabrication

I.1. Introduction

L'automatisation des processus de fabrication s'impose comme un levier stratégique majeur dans l'industrie de la construction mécanique, visant à optimiser l'efficacité, la précision et la rentabilité des opérations industrielles. Dans ce contexte, l'automatisation des machines-outils, telles que les perceuses à colonne et radiales, se positionne comme une technologie clé, essentielle à la fabrication de pièces de précision dans une multitude d'applications industrielles.

L'objectif de ce chapitre est d'examiner l'état actuel de l'automatisation des outils de perçage, en mettant l'accent sur les techniques de perçage classiques, les nouvelles technologies et les tendances de recherche pertinentes disponibles.

I.2. Principe du perçage

Dans le processus de perçage, la pièce à usiner demeure statique tandis que l'outil de coupe, généralement une mèche ou un foret, exécute deux mouvements simultanés : une rotation uniforme autour de son axe assurant la fonction de coupe et une translation longitudinale suivant son axe assurant l'avance. Cette combinaison de mouvements permet de générer un trou cylindrique de dimensions prédéterminées.



Fig. I.1. Machine Perceuse

I.3. Formes obtenues par perçage

- **Perçage simple (Fig. I.2.a)**

Le perçage peut aboutir à un trou débouchant ou borgne, c'est-à-dire ne traversant pas entièrement la pièce. Dans le cas d'un trou borgne, la géométrie à 120 degrés de la pointe de la mèche laisse son empreinte caractéristique sur le fond du trou.

- **Alésage (Fig. I.2.b)**

L'alésoir, un outil dédié à la finition des trous, permet de conférer à un trou brut ou déjà percé une forme géométrique précise et une surface lisse, améliorant ainsi sa précision dimensionnelle et son état de surface.

- **Fraisage (Fig. I.2.c)**

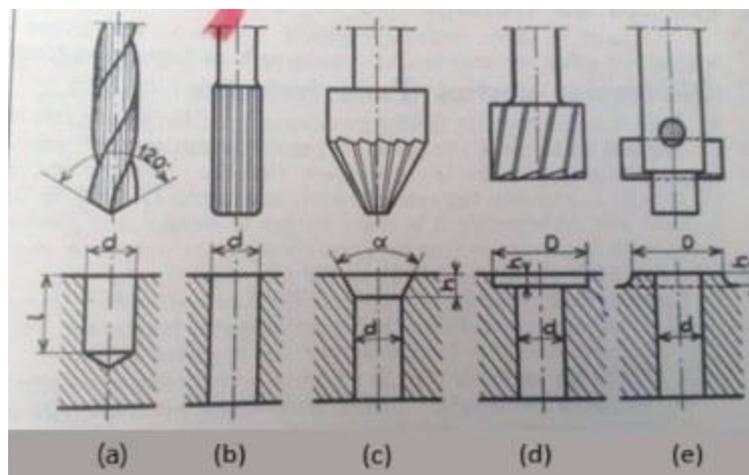
Les trous pour vis, boulons ou rivets à tête conique sont fraisés sur la perceuse après perçage.

- **Lamage (Fig. I.2.d)**

Les trous destinés aux vis et boulons peuvent incorporer un évidement peu profond, nommé lamage, destiné à recevoir la tête de la vis ou du boulon. Ce lamage est réalisé ultérieurement au perçage, en employant un foret à béton, une fraise (fig.e) ou un outil à lamer dédié (Fig.2.f). Ces mêmes outils trouvent également application dans le dressage de la surface des bossages (Fig.2.f).

- **Taraudage (Fig.I.2. e)**

Les trous à tarauder sont d'abord percés au diamètre d_1 de l'avant trou, puis taraudés, à la main ou à la perceuse.



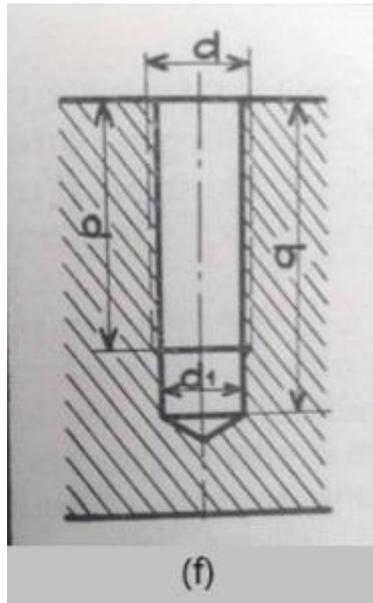


Fig. I.2: Formes obtenus par perçage

I.4. La perceuse à colonne

Également désignée sous les termes de foreuse à colonne ou perceuse verticale, la perceuse à colonne se présente comme un outil électrique stationnaire dédié à la réalisation de trous précis dans des pièces de nature diverse, incluant le bois, le métal, le plastique et autres matériaux. Sa conception robuste et stable la distingue des perceuses à main, permettant ainsi l'obtention de trous plus précis et plus profonds tout en minimisant l'effort requis.



Fig. I.3: Perceuse à colonne.

I.4.1. Principaux composants d'une perceuse à colonne

- **Base**

Une plate-forme constante qui assure la stabilité (évitez les vibrations) pendant l'utilisation de la machine-outil.

- **Colonne**

Fournit un soutien structurel qui supporte le moteur et la broche de la perceuse.

- **Tête**

La tête abrite le moteur et la broche de la perceuse.

- **Broche**

La broche assure le maintien et tourne le foret en toute sécurité.

- **Mandrin**

Le mandrin se fixe à la broche et permet de serrer et desserrer les forêts

- **Manette d'avance**

La manette d'avance permet de régler la profondeur du trou.

- **Poignée**

La poignée permet de déplacer la tête de la perceuse verticalement.

I.4.2. Fonctionnement de la perceuse à colonne

- Placez la pièce à travailler sur la table.
- Choisissez le foret adapté au matériau et à la taille du trou désirés.
- Insérez le foret dans le mandrin et serrez-le.
- Réglez la profondeur du trou à l'aide de la manette d'avance.
- Mettez la perceuse en marche et amenez le foret en contact avec la pièce à travailler.
- Appliquez une pression constante sur la manette d'avance pour faire avancer le foret dans la pièce.
- Une fois que le trou a atteint la profondeur souhaitée, éteignez la perceuse et retirez le foret.

I.4.3. Avantages d'une perceuse à colonne

- **Précision**

La construction solide et stable de la perceuse à colonne offre la possibilité d'obtenir des trous plus précis que ceux obtenus avec une perceuse à main.

- **Profondeur**

Les perforateurs à colonne ont la capacité de creuser des trous plus profonds que les perforateurs à main.

- **Puissance**

Les moteurs des perceuses à colonne sont souvent plus puissants que ceux des perceuses à main, ce qui leur permet de percer des matériaux plus rigides.

- **Sécurité**

La perceuse à colonne est plus sécurisée à utiliser qu'une perceuse à main en raison de sa conception stable.

I.4.4. Utilisations d'une perceuse à colonne

- Effectuer des perforations dans le bois, le métal, le plastique et d'autres matériaux.
- Création de trous pilotes pour vis et clous
- Agrandir les trous déjà existants.
- Fonçage de trous borgnes
- Réalisation de trous de dégagement

I.5. La perceuse radiale

Aussi appelée foreuse radiale ou perceuse à bras radial, une perceuse radiale est une machine-outil de grande taille qui permet de percer des trous précis dans des pièces volumineuses et lourdes.

Sa conception plus souple se démarque des perceuses à colonne, ce qui permet de percer des trous dans des endroits difficiles d'accès sur une table de travail plus vaste.

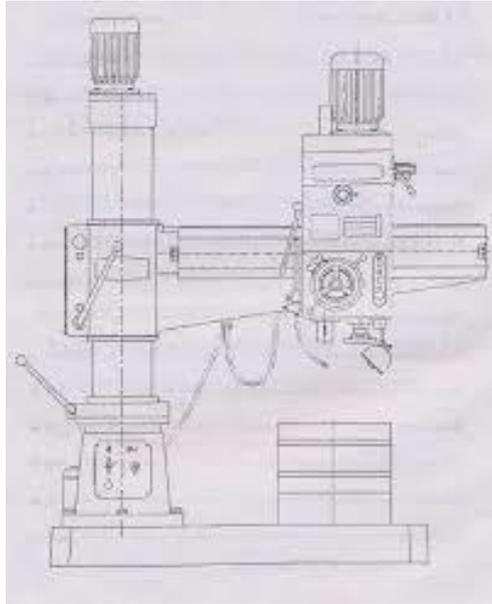


Fig.I.4 : Perceuse radiale

I.5.1. Principaux composants d'une perceuse radiale

- **Base**

La structure de base offre une base solide pour la perceuse et la pièce à travailler.

- **Colonne**

Le bras radial et la tête de la perceuse sont soutenus par la colonne.

- **Bras radial**

Le bras radial pivote horizontalement et permet de positionner la tête de la perceuse sur la pièce à travailler.

- **Tête**

La tête abrite le moteur, la broche et le mandrin de la perceuse.

- **Broche**

La broche tourne et maintient le foret.

- **Mandrin**

Le mandrin est attaché à la broche et assure la fermeture et la détente des forêts.

- **Table**

La table se fixe à la base et supporte la pièce à travailler.

- **Manette d'avance**

La manette d'avance permet de régler la profondeur du trou.

- **Poignée**

La poignée permet de déplacer la tête de la perceuse verticalement et horizontalement le long du bras radial.

I.5.2. Fonctionnement d'une perceuse radiale

- Fixez la pièce à travailler sur la table.
- Sélectionnez le foret approprié pour le matériau et la taille du trou souhaités.
- Insérez le foret dans le mandrin et serrez-le.
- Réglez la profondeur du trou à l'aide de la manette d'avance.
- Mettez la perceuse en marche et amenez le foret en contact avec la pièce à travailler.
- Appliquez une pression constante sur la manette d'avance pour faire avancer le foret dans la pièce.
- Une fois que le trou a atteint la profondeur souhaitée, éteignez la perceuse et retirez le foret.

I.5.3. Avantages d'une perceuse radiale

- **Flexibilité**

L'utilisation d'une perceuse radiale avec un bras radial permet une grande souplesse pour percer des trous dans des endroits difficiles d'accès sur une table de travail plus haute.

- **Capacité**

Dans la plupart des cas, les perceuses radiales ont la capacité de creuser des trous plus vastes et plus profonds que les perceuses à colonne.

- **Puissance**

Des moteurs plus puissants que les perceuses à colonne permettent aux perceuses radiales de percer des matériaux plus durs.

- **Précision**

La perceuse radiale est conçue de manière solide et stable, ce qui permet d'obtenir des trous précis.

I.5.4. Utilisations d'une perceuse radiale

- Perçage de trous dans des pièces volumineuses et lourdes
- Création de trous pilotes pour vis et clous
- Agrandissement de trous existants
- Fonçage de trous borgnes
- Réalisation de trous de dégagement

Chapitre II

Etude et Conception du système automatisé

Chapitre II : Etude et Conception du système automatisé

II.1. Introduction

En constante évolution, l'automatisation des processus industriels vise à améliorer la précision, l'efficacité et la sécurité des opérations. La perceuse à colonne joue un rôle crucial parmi les nombreuses machines employées dans les ateliers de fabrication pour les opérations de perçage de grande précision. Mais son utilisation manuelle a des limites en termes de répétabilité et de précision, en particulier lorsqu'il s'agit de percer plusieurs fois ou de faire des séries de perçages complexes. C'est dans cette situation que le projet d'automatisation actuel prend toute sa signification.

Afin d'optimiser les capacités et la polyvalence de la perceuse à colonne, nous suggérons l'intégration d'une table croisée automatique. Grâce à ce dispositif, les mouvements de la table seront automatiquement contrôlés en fonction des axes X et Y, ce qui permettra une plus grande souplesse et une meilleure précision lors des opérations de perçage. La mise en place de cette table croisée automatique a pour objectif de convertir une perceuse à colonne traditionnelle en un outil semi-automatisé, capable de satisfaire aux exigences de fabrication contemporaines. Dans ce chapitre nous allons traiter la conception de la table croisée automatique.

II.2. Diverses solutions suggérées

Dans cette section, nous examinerons les diverses options de solutions disponibles pour élaborer une table croisée automatisée :

II.2.1. Système de guidage

II.2.1.1. Douilles à billes

Les douilles à billes sont des éléments mécaniques employés dans les systèmes de guidage linéaire. L'utilisation de billes qui roulent entre la douille et l'arbre permet le mouvement fluide et précis d'un axe cylindrique. On retrouve fréquemment des douilles à billes dans différentes applications industrielles afin d'améliorer la précision et la répétabilité des mouvements linéaires tout en diminuant la friction et l'usure.[4]

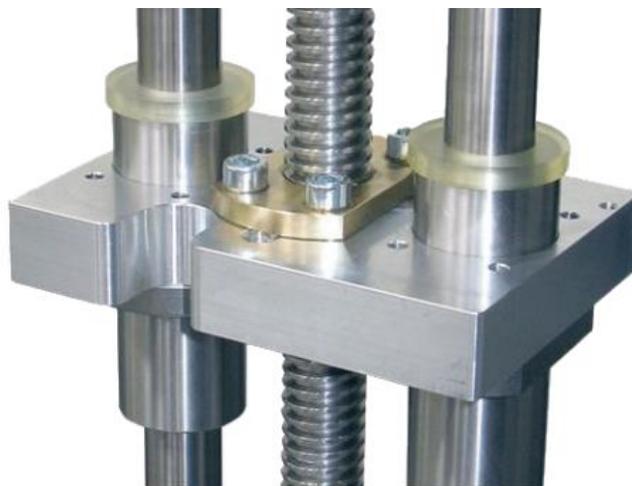


Fig. II.4: Douille de guidage.[4]

II.2.1.2. Avantages des douilles de guidage

- ✓ **Précision de guidage** : Elles offrent un guidage linéaire précis, réduisant les jeux et augmentant la qualité des mouvements.
- ✓ **Faible friction** : Grâce aux matériaux spécifiques ou à des systèmes de roulements, elles réduisent la friction, ce qui minimise l'usure et améliore l'efficacité.
- ✓ **Durabilité** : Les douilles de guidage, surtout celles en matériaux de haute qualité (bronze, acier, plastique renforcé), résistent à l'usure et prolongent la durée de vie des systèmes.
- ✓ **Facilité de remplacement** : Elles sont souvent interchangeables et faciles à remplacer en cas d'usure, ce qui simplifie la maintenance.
- ✓ **Polyvalence** : Disponibles dans une variété de tailles et de matériaux pour s'adapter à différentes applications, environnements et charges.

II.2.1.3. Inconvénients des douilles de guidage

- ✓ **Coût initial** : Certaines douilles, notamment celles en matériaux spécialisés ou à haute précision, peuvent être coûteuses à l'achat.
- ✓ **Entretien régulier** : Selon les matériaux utilisés, les douilles peuvent nécessiter un entretien fréquent, comme la lubrification pour maintenir des performances optimales.
- ✓ **Sensibilité aux contaminants** : Les particules de poussière, de saleté ou d'autres contaminants peuvent endommager les douilles, affectant ainsi leur précision et leur durabilité, notamment dans les environnements industriels poussiéreux.
- ✓ **Limites de charge** : Bien que certaines douilles puissent supporter des charges élevées, d'autres, notamment celles en plastique, ont des limites de charge et peuvent s'user rapidement sous une contrainte excessive.
- ✓ **Possibilité de jeu** : Si mal ajustées ou usées, les douilles peuvent introduire un jeu dans le système, affectant la précision du guidage.

II.2.2. Rails de guidage

Dans les systèmes de mouvement linéaire, un rail de guidage joue un rôle mécanique crucial. Il donne un chemin rectiligne pour un chariot ou un curseur, offrant ainsi des mouvements linéaires précis, fluides et contrôlés. Il est fréquent d'utiliser des rails de guidage dans les machines-outils, les équipements industriels et les systèmes de transport automatisés.

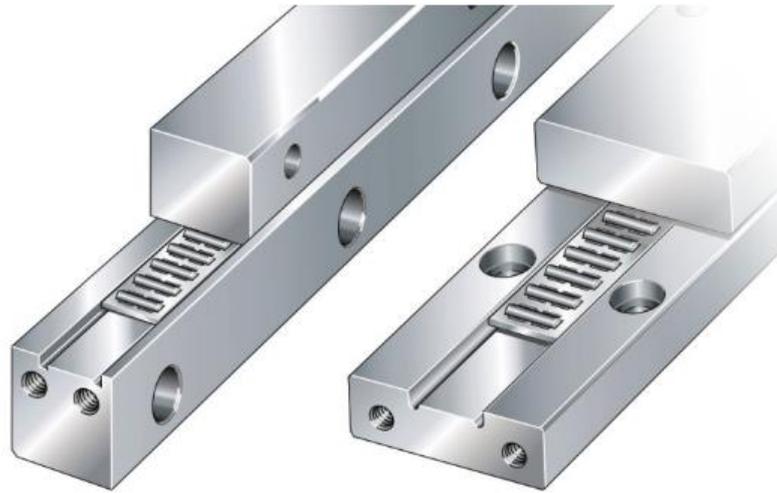


Fig. II.5: Rail de guidage.[5]

II.2.2.1. Avantages des rails de guidage

- ✓ **Grande précision et stabilité :** Les rails de guidage permettent un mouvement linéaire très précis et stable, minimisant les erreurs de positionnement.
- ✓ **Capacité de charge élevée :** Les rails, surtout ceux avec des patins à recirculation de billes, sont capables de supporter des charges lourdes tout en maintenant une grande précision.
- ✓ **Rigidité :** Ils sont très rigides, ce qui permet d'éviter les déformations et de garantir une stabilité structurelle même sous des charges importantes ou des forces latérales.
- ✓ **Faible friction :** Grâce aux systèmes de roulements ou de billes, les rails de guidage réduisent considérablement la friction, ce qui permet un mouvement fluide et prolonge la durée de vie de l'ensemble.
- ✓ **Durabilité :** En acier trempé ou autres matériaux robustes, ils sont conçus pour une longue durée de vie, même dans des environnements exigeants.
- ✓ **Polyvalence :** Les rails peuvent être utilisés dans une grande variété d'applications, allant des petites machines de précision aux systèmes industriels lourds.
- ✓ **Facilité d'intégration :** Ils sont souvent modulaires, faciles à installer et à ajuster en fonction des besoins de l'application.

II.2.2.2. Inconvénients des rails de guidage

- ✓ **Coût élevé :** Les rails de guidage, surtout ceux en acier trempé avec des patins à billes, peuvent être coûteux, particulièrement dans des applications nécessitant de grandes longueurs ou une haute précision.

- ✓ **Encombrement** : Selon les dimensions et les configurations, les rails de guidage peuvent être encombrants et nécessiter un espace important pour leur installation.
- ✓ **Entretien régulier** : Bien que très performants, ils peuvent nécessiter un entretien régulier, notamment la lubrification, pour éviter l'usure prématurée des patins et des roulements.
- ✓ **Sensibilité aux contaminants** : Les rails à roulements ou à billes sont sensibles à la poussière, aux débris et à l'humidité, ce qui peut réduire leur efficacité et leur durée de vie sans un environnement propre ou une protection adéquate.
- ✓ **Rigidité excessive** : Si la flexibilité est nécessaire dans une application, les rails de guidage peuvent poser problème, car leur rigidité peut limiter les possibilités de mouvement multidirectionnel ou les ajustements de tolérance.
- ✓ **Installation précise requise** : Les rails de guidage doivent être installés avec une grande précision pour éviter tout désalignement ou jeu, ce qui peut compliquer le montage initial.

II.2.3. Systèmes de transmission (suivant l'axe X et Y)

II.2.3.1. Les chaînes à rouleaux

Les chaînes à rouleaux sont des éléments mécaniques employés dans différents systèmes industriels afin de transmettre de la puissance. Elles se composent d'un ensemble de maillons articulés avec des rouleaux, des axes et des plaques latérales. Dans les convoyeurs, les entraînements de machines et les systèmes de transport, on retrouve fréquemment des chaînes à rouleaux.



Fig. II.6: Chaîne à rouleaux.[6]

a. Avantages des chaînes à rouleaux :

- ✓ **Transmission de puissance efficace** : Les chaînes à rouleaux offrent une transmission de puissance efficace et fiable, même dans des conditions de charge importantes.
- ✓ **Résistance à l'usure et à l'étirement** : Les chaînes à rouleaux sont robustes et résistent bien à l'usure lorsqu'elles sont correctement lubrifiées. Elles supportent également les environnements difficiles (humidité, poussière, saleté).
- ✓ **Tolérance aux charges élevées** : Les chaînes à rouleaux sont capables de supporter des charges importantes, ce qui en fait un choix fréquent dans les applications industrielles lourdes.
- ✓ **Faible glissement** : Contrairement aux courroies, les chaînes à rouleaux ne glissent pas, ce qui assure un rapport de transmission constant et fiable entre les pignons.
- ✓ **Durabilité** : Les chaînes à rouleaux, surtout celles en acier, sont extrêmement durables et peuvent durer longtemps avec un bon entretien.
- ✓ **Compacité** : Elles sont plus compactes que d'autres systèmes de transmission, comme les courroies, ce qui permet une meilleure intégration dans des espaces restreints.
- ✓ **Polyvalence** : Les chaînes à rouleaux sont utilisées dans une variété d'applications, allant des transmissions automobiles aux systèmes de convoyage et de machines industrielles.
- ✓ **Facilité de réparation** : En cas de défaillance, une chaîne peut être réparée relativement facilement en remplaçant des maillons individuels sans avoir besoin de remplacer l'ensemble de la chaîne.

b. Inconvénients des chaînes à rouleaux :

- ✓ **Entretien régulier** : Les chaînes à rouleaux nécessitent une lubrification fréquente pour minimiser la friction et l'usure. Si elles ne sont pas correctement entretenues, leur performance peut diminuer rapidement.
- ✓ **Bruit et vibrations** : Les chaînes à rouleaux peuvent générer du bruit et des vibrations pendant leur fonctionnement, surtout à des vitesses élevées. Cela peut être un inconvénient dans les environnements où le silence est nécessaire.
- ✓ **Poids** : Les chaînes à rouleaux, surtout celles utilisées dans les applications industrielles lourdes, peuvent être assez lourdes, ce qui augmente la charge sur les paliers et autres composants du système.

- ✓ **Allongement avec le temps** : Avec le temps et l'usure, les chaînes peuvent s'allonger, ce qui peut nécessiter des ajustements réguliers pour maintenir la tension correcte.
- ✓ **Efficacité réduite à haute vitesse** : Bien que les chaînes à rouleaux soient très efficaces à basse et moyenne vitesse, elles peuvent perdre de leur efficacité à des vitesses très élevées en raison de la friction accrue et des vibrations.
- ✓ **Problèmes de sécurité** : Si une chaîne se rompt en cours de fonctionnement, cela peut entraîner des dommages importants aux machines ou aux personnes à proximité, surtout dans des applications industrielles lourdes. Des dispositifs de protection sont souvent nécessaires.
- ✓ **Corrosion** : Les chaînes à rouleaux métalliques sont sujettes à la corrosion si elles sont utilisées dans des environnements humides ou corrosifs sans protection ou lubrification adéquates.

II.2.3.2. Vis à billes

Une vis à billes est une méthode mécanique qui permet de transmettre un mouvement précis en ligne droite. Elle transforme un mouvement de rotation en un mouvement linéaire, en utilisant des billes qui se déplacent dans des sections hélicoïdales entre la vis et l'écrou. Ce dispositif diminue considérablement la sensation de friction par rapport aux vis traditionnelles, offrant ainsi des mouvements plus fluides, rapides et précis, avec une plus grande précision.



Fig. II.7: Vis à bille.[7]

a. Avantages des vis à billes :

- ✓ **Haute précision** : Les vis à billes offrent un positionnement extrêmement précis et reproductible, ce qui en fait un choix idéal pour les systèmes nécessitant une grande précision, comme les machines CNC.

- ✓ **Faible friction** : Grâce à l'utilisation de billes entre l'écrou et la vis, la friction est considérablement réduite par rapport à d'autres systèmes de vis, comme les vis trapézoïdales. Cela permet un mouvement plus fluide et réduit l'usure.
- ✓ **Haute efficacité** : Le faible frottement des vis à billes leur permet d'avoir une efficacité énergétique élevée (90 % et plus), minimisant les pertes d'énergie par rapport à des systèmes avec plus de friction.
- ✓ **Longue durée de vie** : En raison de la faible friction et de la répartition uniforme des charges, les vis à billes ont une durée de vie plus longue, surtout lorsqu'elles sont bien entretenues.
- ✓ **Capacité de charge élevée** : Les vis à billes peuvent supporter des charges importantes, notamment grâce à la distribution de la charge entre plusieurs billes.
- ✓ **Possibilité d'inversion** : Les vis à billes sont réversibles, c'est-à-dire qu'elles peuvent convertir un mouvement linéaire en mouvement rotatif et vice-versa avec la même efficacité.
- ✓ **Vitesse de déplacement** : En raison de leur faible friction, les vis à billes permettent des vitesses de déplacement plus rapides que d'autres systèmes de vis.

b. Inconvénients des vis à billes :

- ✓ **Coût élevé** : Les vis à billes, en particulier celles de haute précision, sont souvent plus chères que les vis standards, en raison de la complexité de fabrication et des matériaux utilisés.
- ✓ **Sensibilité aux contaminants** : Les vis à billes sont sensibles à la poussière, aux débris et aux contaminants. Si des impuretés pénètrent dans le mécanisme, cela peut entraîner une usure prématurée et des dysfonctionnements.
- ✓ **Nécessité d'entretien** : Elles nécessitent un entretien régulier, notamment en matière de lubrification, pour éviter l'usure et prolonger la durée de vie des billes et des pistes de roulement.
- ✓ **Bruit** : Les vis à billes peuvent être plus bruyantes, en particulier à des vitesses élevées, en raison du mouvement des billes à l'intérieur du mécanisme.
- ✓ **Pas d'autofreinage** : Contrairement aux vis trapézoïdales, les vis à billes ne sont pas autobloquantes. Cela signifie qu'en cas de coupure de courant ou d'arrêt du moteur, elles peuvent se déplacer sous l'effet de la gravité ou de forces extérieures, nécessitant donc un frein ou un système de blocage supplémentaire.
- ✓ **Encombrement et longueur** : Pour des applications nécessitant des déplacements longs, la longueur de la vis peut devenir un facteur limitant, car des vis plus longues ont tendance à fléchir sous leur propre poids.
- ✓ **Tolérances étroites** : Les vis à billes doivent être fabriquées avec des tolérances étroites pour garantir leur bon fonctionnement, ce qui peut ajouter à leur coût de production.

II.2.3.3. Système vis-écrou

Un système vis-écrou est un dispositif qui transforme le mouvement de rotation d'une vis en un mouvement linéaire. Ce système est employé dans de multiples domaines nécessitant un mouvement linéaire précis, tels que les machines-outils, les systèmes de levage, les imprimantes 3D, les robots, et bien d'autres encore. Il est fréquemment privilégié en raison de sa simplicité, de sa fiabilité et de sa capacité à fournir un mouvement précis et puissant.

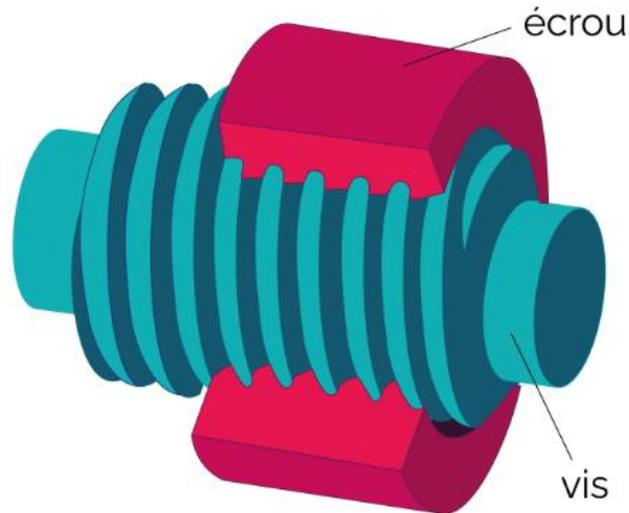


Fig. II.8: Vis-écrou.[8]

a. Avantages du système vis-écrou :

- ✓ **Simplicité** : Le mécanisme vis-écrou est relativement simple à fabriquer, assembler et entretenir. Sa conception robuste en fait un choix courant pour des systèmes de mouvement linéaire.
- ✓ **Autofreinage** : Dans certains systèmes, notamment ceux utilisant des vis trapézoïdales, l'autofreinage est une caractéristique clé. Cela signifie que le système peut maintenir une position sans avoir besoin d'un frein externe, ce qui est utile dans les applications de levage ou de maintien.
- ✓ **Capacité de charge élevée** : Les systèmes vis-écrou peuvent supporter des charges importantes, ce qui les rend adaptés aux applications industrielles lourdes telles que les presses ou les vérins mécaniques.
- ✓ **Précision** : Les systèmes vis-écrou peuvent offrir une bonne précision dans le déplacement, en particulier lorsqu'ils sont combinés avec des écrous en matériaux à faible friction comme le bronze ou les plastiques techniques.
- ✓ **Coût relativement faible** : Comparé à d'autres systèmes plus complexes comme les vis à billes, les systèmes vis-écrou ont généralement un coût initial plus bas, ce qui les rend économiques pour certaines applications.
- ✓ **Résistance aux chocs** : En raison de leur construction robuste, ces systèmes sont résistants aux charges d'impact, ce qui est un avantage dans des environnements de travail exigeants.

b. Inconvénients du système vis-écrou :

- ✓ **Frottement élevé** : Les systèmes vis-écrou traditionnels, notamment les vis trapézoïdales, ont un frottement élevé en raison du contact direct entre la vis et l'écrou. Cela entraîne une usure plus rapide et une perte d'efficacité énergétique (entre 20 % et 50 % selon les cas).
- ✓ **Efficacité réduite** : Comparé aux systèmes de vis à billes, le rendement des systèmes vis-écrou est bien plus faible à cause de la friction. Cette inefficacité peut conduire à une perte d'énergie et à une accumulation de chaleur dans le système.
- ✓ **Usure** : Avec le temps, l'usure de l'écrou et de la vis devient un facteur important, en particulier si le système est soumis à des charges lourdes ou des cycles fréquents. L'usure entraîne des jeux, une perte de précision et peut nécessiter des ajustements ou des remplacements fréquents.
- ✓ **Vitesse limitée** : Les systèmes vis-écrou ne sont pas conçus pour des vitesses de déplacement élevées. À des vitesses élevées, la friction accrue génère de la chaleur et peut provoquer une défaillance prématurée.
- ✓ **Maintenance** : Le frottement et l'usure constante impliquent souvent un entretien régulier, comme la lubrification et le remplacement des composants usés, notamment les écrous.
- ✓ **Pas auto-freinant (dans certains cas)** : Contrairement aux vis trapézoïdales, les vis avec des profils de filetage à faible frottement, comme les vis à pas rapide, ne sont pas auto-freinantes. Cela nécessite l'ajout de systèmes de freinage pour maintenir une position.

II.2.4. Type des moteurs**II.2.4.1. Moteur pas à pas**

Un moteur électrique pas à pas est un moteur qui subdivise un tour complet en un nombre défini de pas égaux. À la différence des moteurs classiques, qui démarrent en permanence lorsque l'alimentation est appliquée, les moteurs pas à pas avancent en différents "pas". Cette fonctionnalité offre une surveillance précise de la position, de la vitesse et du couple.



Fig. II.9: Moteur Pas à pas.[10]

a. Avantages du moteur pas à pas :

- ✓ **Contrôle précis du positionnement** : Le moteur pas à pas permet un contrôle très précis du mouvement angulaire grâce à sa capacité à se déplacer par pas fixes. Il peut s'arrêter à des positions exactes sans l'utilisation d'un système de retour d'information (boucle ouverte).
- ✓ **Maintien de la position sans courant** : Une fois arrêté dans une position spécifique, le moteur pas à pas peut maintenir cette position sans qu'un courant électrique continu soit nécessaire, en fonction des caractéristiques du moteur.
- ✓ **Couple à basse vitesse élevé** : Contrairement à de nombreux autres types de moteurs, les moteurs pas à pas produisent un couple important à basse vitesse, ce qui les rend adaptés aux applications nécessitant des mouvements lents et puissants.
- ✓ **Simplicité du contrôle** : Le contrôle d'un moteur pas à pas est relativement simple. Il fonctionne généralement en boucle ouverte, ce qui signifie qu'il ne nécessite pas de capteurs de position pour ajuster sa vitesse ou sa position.
- ✓ **Réversibilité facile** : Les moteurs pas à pas peuvent changer rapidement de direction sans nécessiter de systèmes de freinage complexes ou de contrôle sophistiqué.
- ✓ **Stabilité à faible vitesse** : Ces moteurs sont très stables à des vitesses basses, ce qui les rend adaptés aux applications nécessitant des mouvements linéaires ou rotatifs très précis, comme les imprimantes 3D ou les scanners.
- ✓ **Durabilité** : Les moteurs pas à pas ont une conception simple avec peu de composants mobiles, ce qui les rend durables et fiables dans des environnements difficiles, tant qu'ils sont utilisés dans des plages de performances adaptées.

b. Inconvénients du moteur pas à pas :

- ✓ **Perte de synchronisation (désynchronisation)** : En fonctionnement en boucle ouverte, le moteur pas à pas peut perdre des pas si la charge dépasse sa capacité ou si une accélération soudaine est demandée. Cela peut entraîner des erreurs de positionnement, car il n'y a pas de retour de position.
- ✓ **Efficacité énergétique faible** : Les moteurs pas à pas consomment du courant même lorsqu'ils ne bougent pas (lors du maintien de la position), ce qui peut entraîner une consommation énergétique élevée par rapport à d'autres types de moteurs comme les servomoteurs.
- ✓ **Couple limité à haute vitesse** : Le couple des moteurs pas à pas diminue fortement à mesure que la vitesse augmente. Ils sont moins efficaces à des vitesses élevées et peuvent même perdre des pas à haute vitesse.
- ✓ **Chauffe importante** : Les moteurs pas à pas ont tendance à chauffer pendant une utilisation prolongée, en particulier lorsque le courant est maintenu pour maintenir la position. Cela peut affecter la durée de vie et la performance si une dissipation de chaleur adéquate n'est pas assurée.

- ✓ **Vibrations et résonance** : À certaines vitesses, les moteurs pas à pas peuvent générer des vibrations dues aux résonances naturelles. Cela peut affecter la précision et la stabilité du mouvement, surtout dans les applications nécessitant un mouvement fluide.
- ✓ **Faible rendement** : Par rapport à d'autres moteurs comme les servomoteurs, les moteurs pas à pas ont un rendement plus faible, car ils consomment de l'énergie même lorsqu'aucun mouvement n'est effectué.
- ✓ **Limitation de la puissance** : Les moteurs pas à pas sont généralement adaptés aux applications de faible à moyenne puissance. Pour des applications nécessitant des puissances élevées, d'autres types de moteurs, comme les moteurs asynchrones ou les servomoteurs, sont plus appropriés.

II.2.4.2. Servomoteur

Un servomoteur est un système de contrôle de mouvement électrique qui requiert une grande précision et un contrôle élevé. Non seulement il peut réguler la vitesse et la position angulaire du rotor, mais il peut également maintenir cette position de manière stable en fournissant un retour en boucle fermée.



Fig. II.10: Servomoteur.[11]

a. Avantages du servomoteur :

- ✓ **Précision élevée** : Grâce au retour d'information en boucle fermée (via un encodeur ou un capteur), les servomoteurs peuvent contrôler la position avec une grande précision, souvent de l'ordre du micron ou mieux, ce qui les rend idéaux pour les applications nécessitant un positionnement exact.
- ✓ **Contrôle de la vitesse et du couple** : En plus du contrôle de position, les servomoteurs permettent de réguler précisément la vitesse et le couple, ce qui les rend adaptés à des applications dynamiques où ces paramètres doivent être ajustés en temps réel.
- ✓ **Réaction rapide** : Les servomoteurs offrent une réponse rapide aux changements de consignes, ce qui est essentiel dans les applications nécessitant des ajustements rapides de position, de vitesse ou de couple.

- ✓ **Efficacité énergétique** : Contrairement aux moteurs pas à pas, qui consomment du courant même lorsqu'ils sont immobiles, les servomoteurs ne consomment de l'énergie que lorsqu'ils en ont besoin, ce qui les rend plus efficaces sur le plan énergétique.
- ✓ **Couple élevé à haute vitesse** : Les servomoteurs conservent un couple élevé sur une large gamme de vitesses, ce qui les distingue des moteurs pas à pas, dont le couple diminue à mesure que la vitesse augmente.
- ✓ **Fonctionnement fluide** : Grâce au contrôle en boucle fermée, les servomoteurs offrent des mouvements très fluides, même à des vitesses élevées, sans les vibrations ou les problèmes de résonance observés avec les moteurs pas à pas.
- ✓ **Puissance et capacité de charge** : Les servomoteurs peuvent générer une puissance et un couple importants, ce qui les rend adaptés aux applications nécessitant une force importante, comme les machines industrielles ou les systèmes de levage.
- ✓ **Faible échauffement** : Grâce à leur gestion intelligente de la consommation d'énergie et de l'effort, les servomoteurs chauffent moins que les moteurs pas à pas, même lors de périodes prolongées d'utilisation.

b. Inconvénients du servomoteur :

- ✓ **Coût élevé** : Les servomoteurs sont plus coûteux que les moteurs pas à pas ou d'autres types de moteurs simples en raison de leur complexité, des capteurs et des systèmes de contrôle nécessaires.
- ✓ **Complexité de mise en œuvre** : Le contrôle d'un servomoteur nécessite une électronique plus complexe, ainsi que des algorithmes de contrôle plus sophistiqués, ce qui peut rendre leur intégration dans un système plus difficile et coûteuse.
- ✓ **Besoin de capteurs de retour** : Les servomoteurs nécessitent des capteurs de retour de position (comme des encodeurs) pour fonctionner correctement. Cela peut ajouter de la complexité et du coût à la configuration.
- ✓ **Entretien des capteurs** : Les capteurs de retour d'information, comme les encodeurs, peuvent être sujets à des pannes ou à des dysfonctionnements, nécessitant une maintenance régulière pour garantir leur précision.
- ✓ **Dépendance à l'alimentation** : Si l'alimentation est coupée, le servomoteur ne peut plus maintenir sa position, contrairement à certains moteurs pas à pas ou à vis, qui peuvent rester en place sans énergie. Cela peut nécessiter des systèmes de secours pour certaines applications critiques.
- ✓ **Surcharge et protection** : Bien que les servomoteurs soient puissants, une surcharge prolongée peut endommager les composants électroniques internes, comme le contrôleur ou l'encodeur. Ils nécessitent donc une gestion précise de la charge et une protection contre les surcharges.
- ✓ **Taille** : En raison de l'ajout de capteurs, d'électronique et de systèmes de refroidissement, les servomoteurs peuvent être plus volumineux que des moteurs simples de même puissance.

II.3. Choix des éléments

II.3.1. Vis à bille

II.3.1.1. Critères de sélection

a. Précision

La vis à bille a été choisie pour sa capacité à offrir un mouvement linéaire précis, essentiel pour garantir l'exactitude du positionnement de la table croisée. Contrairement à une vis trapézoïdale, La vis à bille présente un jeu axiale minimal, permettant d'obtenir une répétabilité de l'ordre du micron. Cette précision est cruciale pour les opérations de perçage ou un déplacement fin de l'outil est requis.

b. Efficacité

La vis à bille se distingue par un rendement mécanique supérieur à 90%, grâce à la réduction significative du frottement entre les éléments de contact. Cette efficacité se traduit par une meilleure conversion de la puissance moteur en mouvement linéaire, réduisant ainsi la consommation d'énergie et l'usure des composants.

c. Durabilité

Les vis à billes sont conçues pour supporter des charges élevées tout en maintenant une grande précision au fil du temps. La vis à bille sélectionnée est fabriquée en acier trempé, ce qui lui confère une résistance élevée à l'usure, essentielle pour les cycles d'opération répétés. De plus, les billes roulantes réduisent l'abrasion, prolongeant ainsi la durée de vie de l'ensemble du système.

II.3.1.2. Calcul de dimensionnement selon l'axe Y

La vis à bille de l'axe Y doit supporter le poids de la table, la pièce à usiné et la force de coupe.

On a :

Une course de 150 mm

Une force de coupe max 1000N

Le poids de la table + La pièce a usiné est 25kg = 245.25N

Donc :

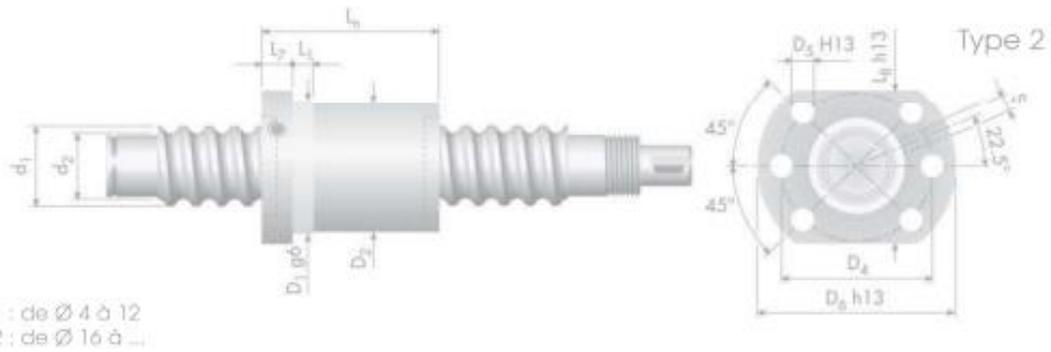
$$F_t = 1000 + 245.25 = 1245.25N \quad (\text{II.1})$$

F_t : La charge totale

On multiplie la charge totale par le coefficient de sécurité 3

$$1245.25 \times 3 = 3735.75N \quad (\text{II.2})$$

Donc on doit choisir une vis à billes qui supporte une charge statique de 3735.75N



Type 1 : de \varnothing 4 à 12
Type 2 : de \varnothing 16 à ...

Référéncé \varnothing x pas	Dimensions en mm														Capacité de charge		
	d_1	d_2	D_1 g_6	D_2	D_3	D_5 h_{13}	D_6 h_{13}	L_3	L_1	L_2	L_4 h_{13}	l	S	SA^b	T	C_{dyn} N	C_{stat} N
FBI 4 x 1	4	3,2	8	7,9	12	2,7	17	14	2	3	11	3 x 1	—	—	0,03	430	580
FBI 6 x 1	6	5	12	11,8	18	3,4	24	18	4	4	16	3 x 1	$\varnothing 2$	K	0,03	600	1 000
FBI 8 x 1	8	7	14	13,5	21	3,4	27	18	4	4	18	3 x 1	$\varnothing 2$	K	0,03	700	1 200
FBI 8 x 2	8	6,5	16	15,5	22	3,4	28	30	4	6	19	3 x 1	$\varnothing 4$	K	0,05	1 400	2 000
FBI 10 x 4	10	7,5	18	17,8	28	4,5	36	38	6	6	23	4 x 1	—	—	0,07	4 100	6 700
FBI 10 x 4	10	7,5	18	17,8	28	4,5	36	38	6	6	23	4 x 1	$\varnothing 2$	K	0,07	4 100	6 700
FBI 12 x 5	12	9,5	24	23,5	32	4,5	40	40	6	8	26	3 x 1	$\varnothing 4$	K	0,07	5 000	8 600
FBI 16 x 5 ^o	15,7	13	28	27,8	38	5,5	48	45	6	10	40	3 x 1	M6	K	0,07	9 700	22 000
FBI 20 x 5 ^o	19,2	16,5	36	35,5	47	6,6	58	50	10	10	44	3 x 1	M6	K	0,07	10 800	25 000
FBI 25 x 5	24,6	21,5	40	39,5	51	6,6	62	50	10	10	48	3 x 1	M6	K	0,07	11 700	30 000
FBI 25 x 5	24,6	21,5	40	39,5	51	6,6	62	55	10	10	48	4 x 1	M6	K	0,07	14 000	35 000
FBI 32 x 5	31,6	28,5	50	49,5	65	9,0	80	57	10	12	62	4 x 1	M6	K	0,07	19 000	54 000

Fig. II.11: Erou à bille Type FBI [12]

D'après le catalogue ECMU on a choisi le type FBI 10x4

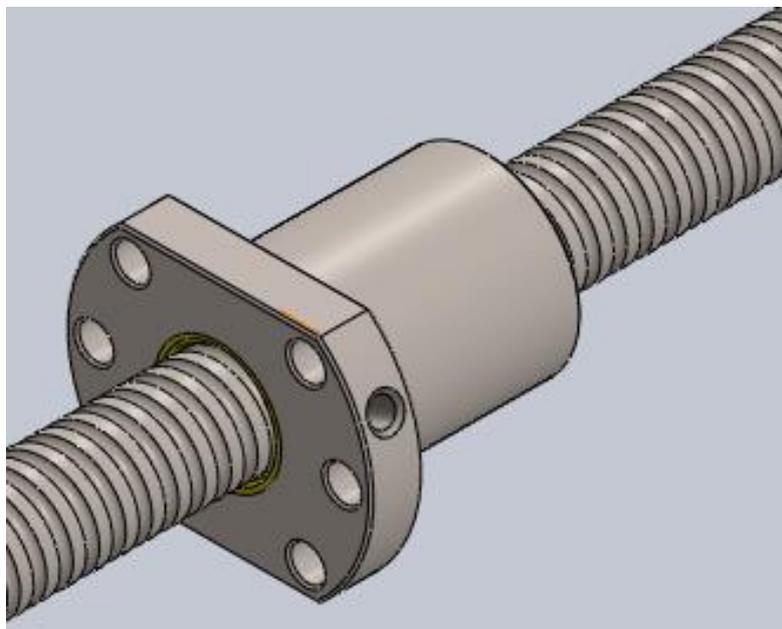


Fig. II.12: Vis à billes FBI 10x4

II.3.1.3. Calcul de dimensionnement selon l'axe X :

La vis à billes de l'axe X doit supporter le poids de la pièce a usiné et la force de coupe

On a :

Une course de 250mm

Une force de coupe max 1000N

Le poids de la pièce a usiné 10kg = 98.1N

Donc :

$$F_t = 1000 + 98.1 = 1098.1\text{N} \quad (\text{II.3})$$

F_t : La charge totale

On multiplie la charge totale par le coefficient de sécurité 3

$$1098.1 \times 3 = 3294.3\text{N} \quad (\text{II.4})$$

D'après le catalogue ECMU on a choisi le type FBI 10×4 le même que l'axe Y

II.3.2. Douilles de guidage :

II.3.2.1. Critères de sélection :

Dans le cadre de l'automatisation de la perceuse a colonne avec une table croisée, le choix des douilles à billes est essentiel pour assurer un guidage précis et un mouvement fluide des axes X et Y. Après une analyse approfondie des exigences du projet, les douilles a billes de type SM 10-AJ ont été retenues. Voici les raisons qui motivent ce choix :

a. Compatibilité avec la vis à bille :

La vis à bille sélectionnée pour ce projet est de type FBI 10×4, ayant un diamètre nominal de 10mm. Les douilles à billes SM 10-AJ sont spécialement conçues pour des axes de 10mm, assurant ainsi une compatibilité parfaite avec la vis à bille. Cela garantit un ajustement précis et minimise le jeu radial, ce qui est crucial pour maintenir la précision lors des déplacements.

b. Capacité de charge :

Les douilles à billes SM 10-AJ sont capables de supporter des charges importantes, avec une capacité de charge d'environ 774.99N par douille. Dans ce projet, chaque axe combinées dues au poids de la table ou de la pièce, ainsi qu'à la force de coupe.

- **Pour l'axe X :**

La charge totale est de 1098.1N (poids de la pièce 10kg+force de coupe de 1000N)

- **Pour l'axe Y :**

La charge totale est de 1245.25N (poids de la table 15kg+poids de la pièce 10kg+ force de coupe 1000N)

En utilisant deux douilles par axe, la capacité de charge totale atteint 1549.98N, ce qui est largement suffisant pour supporter les charges appliquées sur les deux axes. Cette marge de sécurité est essentielle pour garantir que les douilles puissent supporter les charges sans déformation ni usure prématurée.

c. Précision et faible jeu :

Les douilles à billes SM 10-AJ offrent un faible jeu radial, généralement de l'ordre de quelques micromètres. Cette caractéristique est primordiale pour maintenir une haute précision dans le guidage linéaire de la table croisée, réduisant ainsi les vibrations et les erreurs de positionnement pendant les opérations d'usinage.

d. Durabilité et maintenance :

Les douilles SM 10-AJ sont fabriquées en acier trempé, ce qui leur confère une résistance élevée à l'usure et une longue durée de vie, même sous des charges lourdes. De plus, elles nécessitent peu de maintenance, certaines étant même autolubrifiantes, ce qui réduit les coûts et les efforts d'entretien tout en garantissant un fonctionnement continu et fiable.

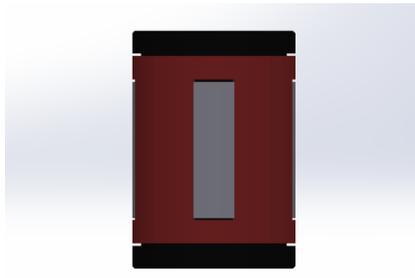


Fig.II.13. Vue de face de douille à bille SM 10-AJ



Fig. II. 14. Vue de dessus de douille à bille SM 10-AJ

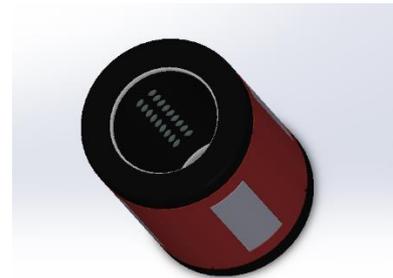


Fig.II.15. Vue 3D de douille à bille SM 10-AJ

II.3.3. Moteur pas à pas :

- Pour l'axe Y :

On a :

- ✓ Poids de la table : 15kg
- ✓ Poids de la pièce : 10kg
- ✓ Force de coupe : 1000N
- ✓ Pas de la vis à bille : 4mm
- ✓ Rendement de la vis à bille : 0.9

La force totale F_t est la somme de la force gravitationnelle exercée par le poids et la force de coupe.

$$F_t = (25 \times 9.81) + 1000 = 1245.25 \text{ N} \quad (\text{II.5})$$

Calculons le couple nécessaire pour l'axe Y

$$T = \frac{F_t \times P}{2\pi \times n} \quad (\text{II.6})$$

$$T = 0.88Nm$$

• Pour l'axe X :

On a :

- ✓ Poids de la pièce : 10kg
- ✓ Force de coupe : 1000N
- ✓ Pas de la vis à bille : 4mm
- ✓ Rendement de la vis à bille : 0.9

La force totale F_t est la somme de la force gravitationnelle exercée par le poids et la force de coupe.

$$F_t = (10 \times 9.81) + 1000 = 1098.1N \quad (II.7)$$

Calculons le couple nécessaire pour l'axe X

$$T = \frac{F_t \times P}{2\pi \times n} \quad (II.8)$$

$$T = 0.77Nm$$

D'après le calcul du couple on a choisi le moteur pas à pas NEMA 23.

II.3.3.1. Caractéristiques principales du moteur :

Taille	NEMA 23 (56mm x 56mm)
Couple	1.26Nm
Courant nominal	2.8A par phase
Tension	En général alimenté en 24 V
Nombre de pas	200 pas par tour (soit 1.8° par pas)
Vitesse	Ce moteur peut atteindre des vitesses de 1000RPM à 1500RPM en fonction de la charge et du driver utilisé.
Inertie du rotor	280 g.cm ²
Poids	1.34 kg

II.3.3.2. Avantages du NEMA 23 :

- ✓ **Couple suffisant** : Avec un couple de 1.26 Nm, ce moteur offre une bonne marge par rapport aux besoins calculés pour les axes X et Y.
- ✓ **Compatibilité** : Très utilisé dans les systèmes CNC, il existe de nombreux drivers et contrôleurs compatibles.
- ✓ **Précision** : 200 pas par tour assure une bonne précision pour le mouvement de la table croisée. Avec des microsteps, on peut encore augmenter cette précision.

II.3.4. Driver :

On va choisir le driver DM542, il est compatible avec les moteurs NEMA 23, supporte les tensions entre 24V et 50V, permet un réglage du courant de phase pour protéger le moteur et ajuster la puissance et possibilité d'utiliser des microsteps (jusqu'à 1/128) pour améliorer la précision du mouvement.



Fig. II.16: Driver DM542 [13]

II.4. Description de la table :

La table croisée automatisée est un composant clé dans le processus d'automatisation de la perceuse à colonne. Elle permet le déplacement précis et contrôlé de la pièce à usiner le long des axes X et Y, ce qui est essentiel pour réaliser des perçages multiples avec une grande précision. La table est conçue pour transformer la perceuse à colonne manuelle en un outil semi-automatisé, augmentant ainsi sa flexibilité et sa productivité.

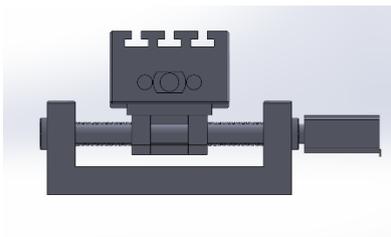


Fig. II. 17. Vue de gauche de la table

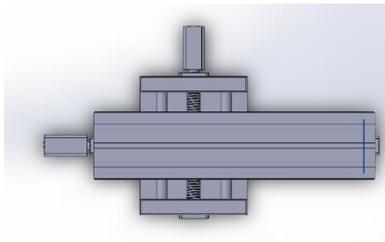


Fig. II. 18. Vue de dessus de la table

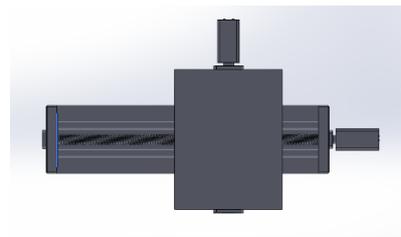


Fig. II. 19 vue de dessous de la table

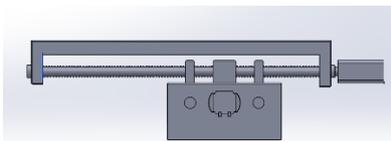


Fig. II. 20. Vue de face de la table

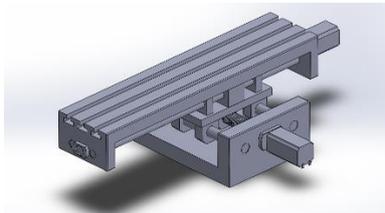


Fig. II. 21. Vue 3D de la table

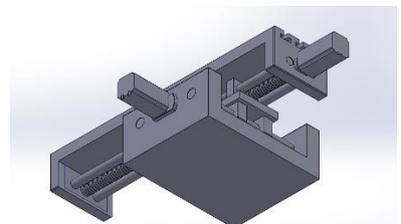


Fig. II. 22. Vue 3D de la table

II.4.1. Structure et Composants

La table croisée est constituée d'une structure robuste, généralement en acier ou en aluminium, pour assurer une rigidité et une stabilité optimales pendant les opérations d'usinage. Elle repose sur deux axes principaux :

- **Axe X** : Il permet le déplacement horizontal de la pièce à usiner, assurant un contrôle précis de la position.
- **Axe Y** : Il contrôle le mouvement vertical de la pièce, permettant de changer la position de la pièce sur le plan perpendiculaire à l'axe X.

Ces deux axes sont équipés de vis à billes de haute précision, qui transforment la rotation des moteurs pas à pas en un mouvement linéaire. Grâce à ces vis à billes, la friction est réduite, ce qui augmente la fluidité du mouvement et la précision des déplacements. La vis à billes sélectionnée pour chaque axe est capable de supporter les charges appliquées pendant l'usinage, avec un jeu axial minimal pour garantir une grande répétabilité dans les déplacements.

II.4.2. Système de guidage

La table est équipée d'un système de guidage linéaire composé de douilles à billes et de barres de guidage. Les douilles à billes permettent un déplacement fluide et précis des axes tout en minimisant la friction et l'usure. Ce système assure également une grande capacité de charge, ce qui est essentiel pour des opérations de perçage sur des pièces de poids variable.

II.4.3. Motorisation et contrôle

Les mouvements de la table sont contrôlés par des moteurs pas à pas NEMA 23, sélectionnés pour leur capacité à offrir un couple suffisant pour déplacer la pièce et la table sans effort excessif. Ces moteurs permettent un contrôle précis du mouvement, avec une résolution de 200 pas par tour (soit $1,8^\circ$ par pas), offrant ainsi une grande précision lors des opérations de perçage. Pour améliorer encore la précision, des microsteps peuvent être utilisés, augmentant le nombre de positions intermédiaires que la table peut atteindre.

Les moteurs sont contrôlés par des drivers DM542, qui gèrent l'alimentation électrique et les réglages de courant pour protéger les moteurs tout en assurant une puissance optimale. Ces drivers permettent également d'ajuster la précision du mouvement en fonction des besoins de l'application, grâce à l'utilisation de microsteps.

II.4.4. Utilisation et avantages

La table croisée automatisée présente plusieurs avantages majeurs par rapport aux systèmes manuels :

- **Précision accrue** : Le système de vis à billes et les moteurs pas à pas permettent d'obtenir des déplacements très précis, essentiels pour les opérations nécessitant une grande exactitude.
- **Réduction de l'effort humain** : L'automatisation des mouvements sur les axes X et Y permet de minimiser l'intervention humaine, rendant le processus plus rapide et plus fiable.

- **Flexibilité** : La table croisée peut être programmée pour effectuer des perçages complexes, des séries de perçages répétitifs, ou encore des opérations sur des matériaux variés.
- **Durabilité** : Les composants mécaniques et électroniques sont conçus pour résister à l'usure et aux charges importantes, ce qui prolonge la durée de vie du système tout en réduisant les coûts de maintenance.

En conclusion, la table croisée automatisée est un ajout essentiel à la perceuse à colonne, permettant de moderniser son fonctionnement et de répondre aux exigences croissantes des environnements de production modernes.

II.5. Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons détaillé l'étude et la conception du système automatisé pour la perceuse à colonne, avec une attention particulière portée à l'intégration d'une table croisée contrôlée le long des axes X et Y. L'objectif principal était de transformer une perceuse manuelle en un système semi-automatisé, plus précis et efficace.

Nous avons commencé par l'analyse des différentes solutions techniques possibles, en optant pour des systèmes de guidage linéaire et des vis à billes, qui offrent une précision optimale et une réduction de la friction. La sélection des moteurs pas à pas NEMA 23 et des drivers DM542 a permis d'assurer un contrôle précis et fiable des mouvements de la table croisée. De plus, nous avons justifié chaque choix technique par des critères de sélection tels que la capacité de charge, la compatibilité avec les autres composants et la durabilité.

L'ensemble de ces éléments, une fois intégrés, a permis de concevoir une solution automatisée capable d'améliorer significativement la répétabilité des opérations de perçage, tout en réduisant les erreurs humaines et en augmentant la productivité globale.

Ce chapitre a donc permis de mettre en lumière les différentes étapes de conception nécessaires à la réalisation de ce projet d'automatisation. Les solutions retenues offrent une base solide pour l'implémentation pratique du système, qui sera approfondie dans les chapitres suivants. Les résultats obtenus montrent que l'intégration de l'automatisation dans une perceuse à colonne classique est non seulement réalisable mais aussi avantageuse en termes de performance et de précision.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'automatisation des processus de fabrication est aujourd'hui un enjeu incontournable pour l'industrie mécanique, où la recherche de précision, de productivité, et de réduction des coûts est devenue une priorité. Ce mémoire a exploré la transformation d'une perceuse à colonne traditionnelle en une machine semi-automatisée, capable de répondre aux exigences actuelles des ateliers de production modernes. L'intégration d'une table croisée automatisée, contrôlée le long des axes X et Y, a permis d'améliorer considérablement la précision des opérations de perçage, tout en réduisant l'effort humain et les risques d'erreurs.

Tout au long de ce projet, nous avons mis en évidence l'importance du choix des composants mécaniques et électroniques dans la conception du système automatisé. Les systèmes de guidage linéaire, les vis à billes, les moteurs pas à pas et les drivers ont été minutieusement sélectionnés en fonction de leurs performances et de leur compatibilité avec l'infrastructure existante. Cette étude a montré que l'automatisation d'une perceuse à colonne ne se limite pas à un gain en précision, mais contribue également à une meilleure efficacité énergétique et à une réduction de l'usure des pièces, ce qui prolonge la durée de vie des équipements.

Les résultats obtenus dans ce travail sont encourageants et montrent que l'automatisation des machines-outils, même des équipements simples comme une perceuse à colonne, peut apporter des bénéfices significatifs à la production industrielle. Ce projet pourrait être considéré comme une première étape vers la généralisation de l'automatisation dans les ateliers mécaniques, notamment pour les petites et moyennes entreprises qui souhaitent améliorer leur compétitivité sans investir dans des systèmes entièrement robotisés.

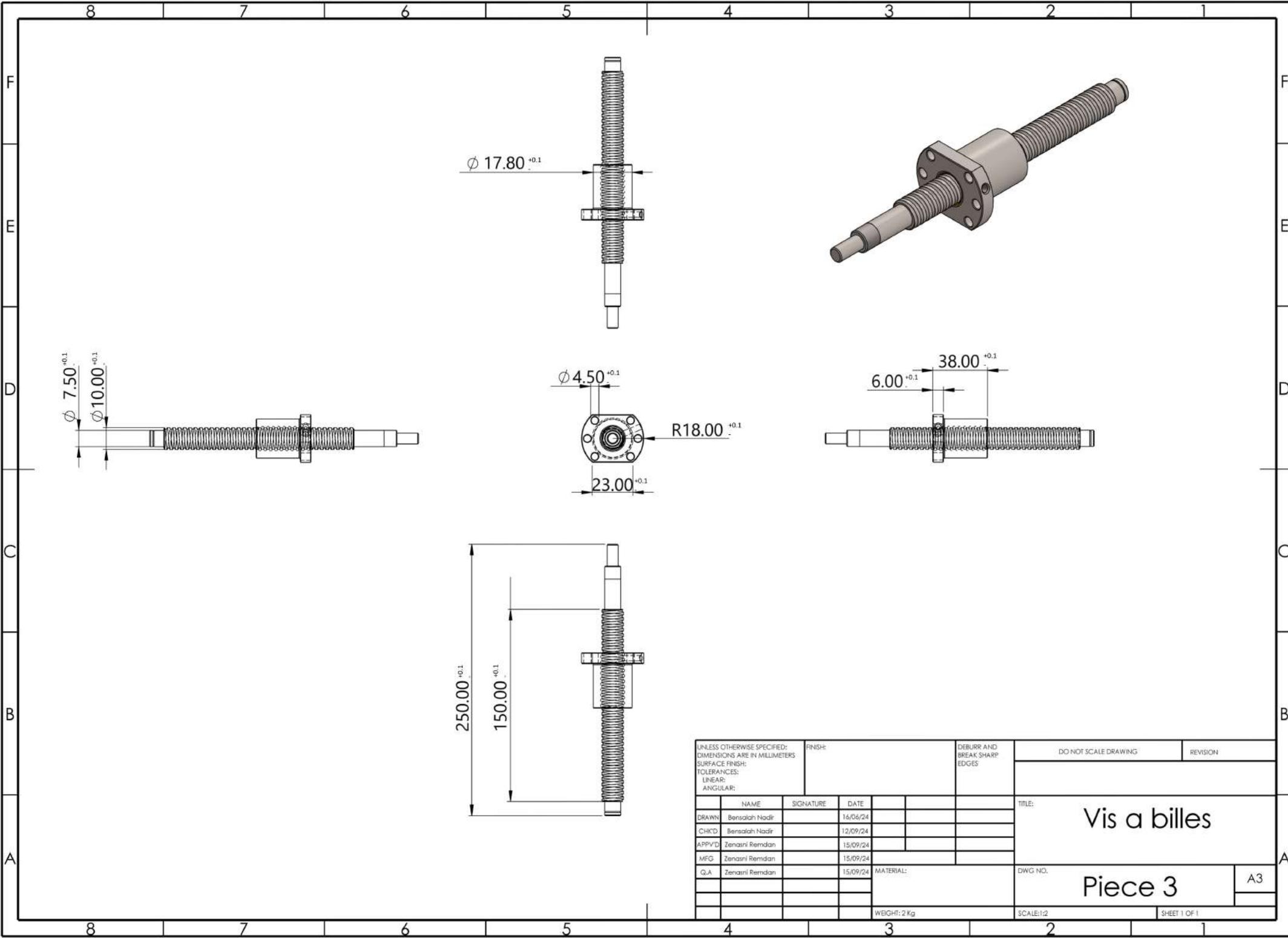
Cependant, comme dans tout projet d'ingénierie, des pistes d'amélioration existent. L'ajout de capteurs plus sophistiqués pour surveiller en temps réel les conditions de perçage, l'optimisation du logiciel de contrôle pour ajuster automatiquement les paramètres de la machine selon le type de matériau, ou encore l'intégration de systèmes intelligents pour prédire l'usure des composants, constituent des perspectives intéressantes pour le futur. De plus, l'étude pourrait être étendue à d'autres types de machines-outils afin d'enrichir davantage le domaine de l'automatisation.

En conclusion, ce projet a non seulement permis de répondre à un besoin industriel spécifique, mais a également ouvert de nouvelles perspectives de recherche et de développement dans le domaine de l'automatisation des systèmes de fabrication. L'automatisation, même à petite échelle, représente un levier stratégique pour les entreprises qui cherchent à optimiser leurs processus, tout en assurant une meilleure qualité de production. Ce mémoire, en proposant une solution technique à l'automatisation de la perceuse à colonne, contribue ainsi à la réflexion sur l'avenir des systèmes de production et leur adaptation aux besoins de l'industrie du futur.

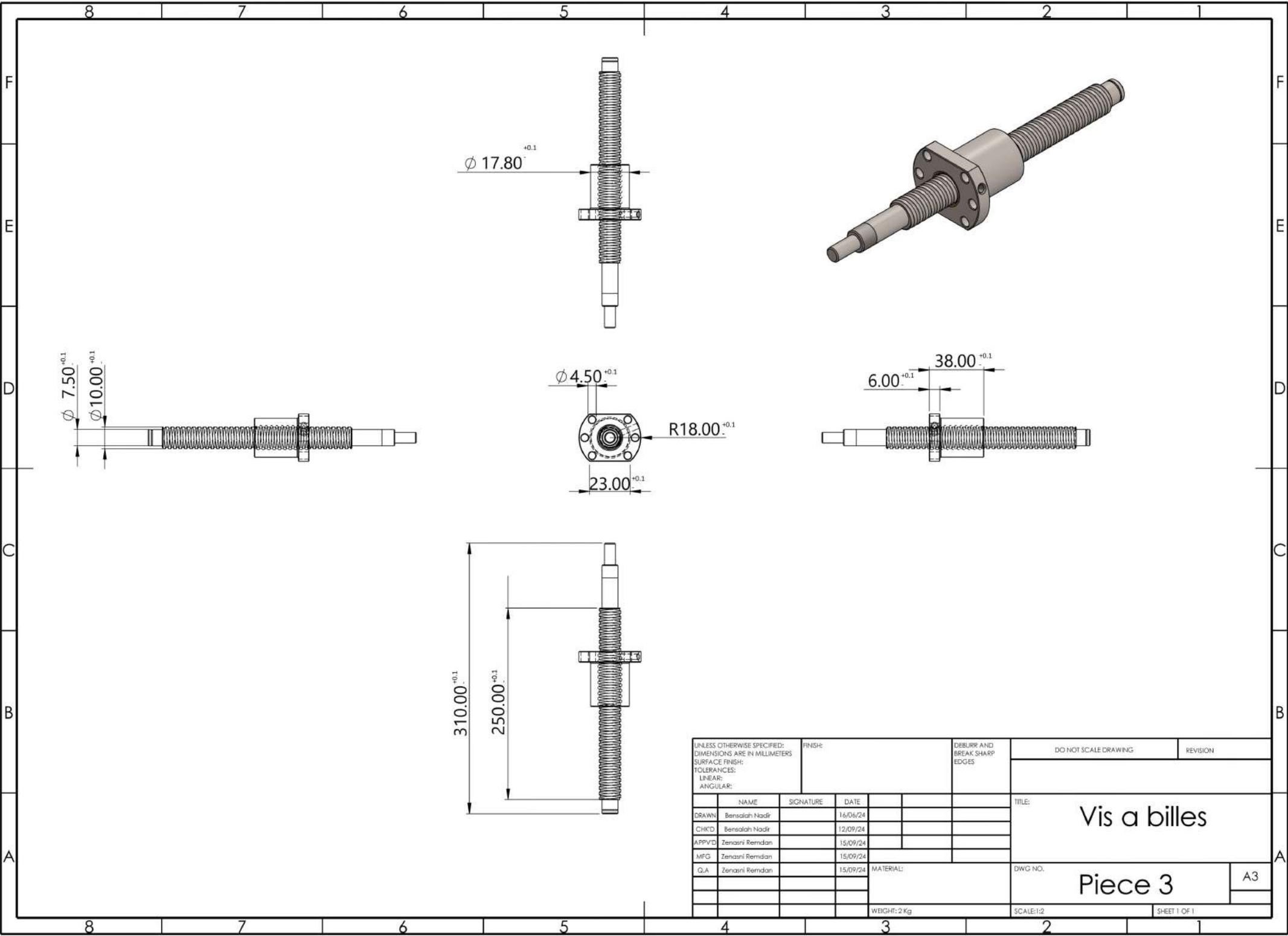
References bibliographies

- [1]. [International Organization for Standardization (ISO). (2016). ISO 23002-1 :2016 - Drill presses - Part 1 : Terms and definitions]
- [2]. [Britannica. (N.d.). Drill press. In Britannica [Online version]. Retrieved May 10, 2024]
- [3]. [International Organization for Standardization (ISO). (2016). ISO 23002-2 :2016 - Drill presses - Part 2 : Terms and definitions for radial drilling machines.]
- [4]. [NTN-SNR. (N.d.). Douilles à billes standards ou compactes, auto-alignantes. NTN-SNR]
- [5]. [Schaeffler France. (N.d.). Rails de guidage J/S avec cage linéaire à aiguilles]
- [6]. [Norelem. (N.d.). Chaînes à rouleaux simples en acier inoxydable DIN ISO 606, plaques arrondies.]
- [7]. [Axes Industries. (S.d.). Vis à billes Eichenberger.]
- [8]. [Maxicours. (s.d.). Les transformations de mouvement.]
- [9]. [MITCalc. (n.d.). Boulon - Aide [BoltContxt].]
- [10]. [Soprolec. (n.d.). M42HS047 : Moteur pas à pas 0.44 Nm Nema 17]
- [11]. [Rotalec. (2018, 20 juin). Qu'est-ce qu'un servomoteur ?]
- [12]. [ECMU_Catalogue (2019). Système vise-écrou à bille]
- [13]. [Reichelt Elektronik. (n.d.). Stepper motor driver for NEMA 23, 18-50 V. Reichelt Elektronik. Retrieved September 3, 2024,]

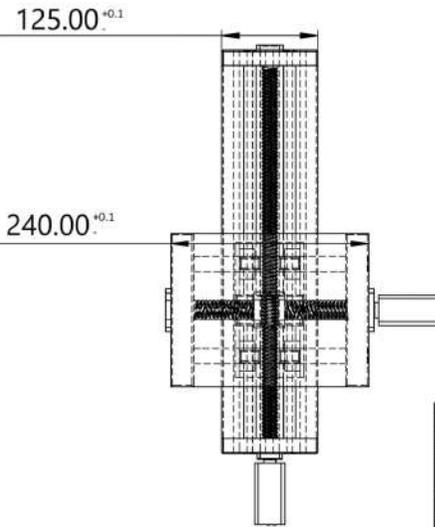
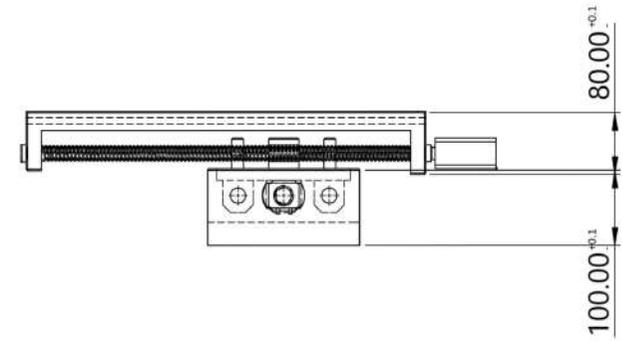
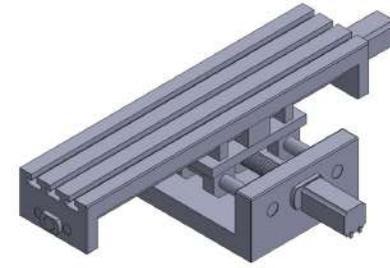
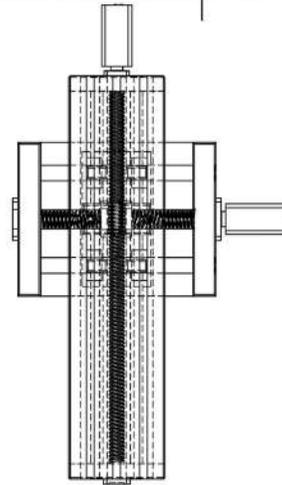
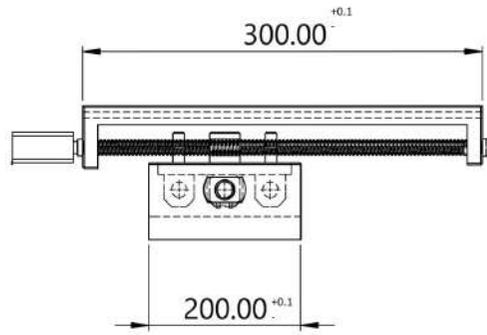
ANNEXE



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:				TOLERANCES:		LINEAR:		ANGULAR:		TITLE:	
DRAWN: Bensalah Nadir				SIGNATURE:		DATE:		16/06/24		Vis a billes	
CHK'D: Bensalah Nadir				12/09/24							
APPV'D: Zenani Remdan				15/09/24							
MFG: Zenani Remdan				15/09/24							
Q.A: Zenani Remdan				15/09/24							
						MATERIAL:		DWG NO.		A3	
						WEIGHT: 2 Kg		SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN	Bensalah Nadir	SIGNATURE	DATE				TITLE: Vis a billes				
CHK'D	Bensalah Nadir		16/06/24				DWG NO. Piece 3				
APPV'D	Zenani Remdan		12/09/24								
MFG	Zenani Remdan		15/09/24				SCALE:1:2				
Q.A	Zenani Remdan		15/09/24								
			MATERIAL:			DWG NO.			A3		
			WEIGHT: 2 Kg			SCALE:1:2			SHEET 1 OF 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:			TOLERANCES:		LINEAR:		ANGULAR:		TITLE:	
DRAWN: Bensalah Nadir			SIGNATURE:		DATE:		TITLE:		Table croisee	
CHK'D: Bensalah Nadir			SIGNATURE:		DATE:		TITLE:		Table croisee	
APPV'D: Zenaseri Remdan			SIGNATURE:		DATE:		TITLE:		Table croisee	
MFG: Zenaseri Remdan			SIGNATURE:		DATE:		TITLE:		Table croisee	
Q.A: Zenaseri Remdan			SIGNATURE:		DATE:		TITLE:		Table croisee	
			MATERIAL:		DWG NO.		SCALE:1:4		SHEET 1 OF 1	
			WEIGHT: 30 Kg		DWG NO.		SCALE:1:4		SHEET 1 OF 1	

Table croisee

Nadir piece

A3