

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE  
DE BLIDA 1  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE MECANIQUE**

**Mémoire de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en  
Construction Mécanique**

**ÉTUDE ET CONCEPTION D'UNE MACHINE D'ÉLECTRO-ÉROSION  
DE DÉCOUPAGE DES MÉTAUX PAR FIL**

**Présenté par : SOUALHI FARES  
DJELLALI SAMIR**

**Promoteur : Dr. BRICKCHAUCHE AMINE  
Co-promoteur : Pr. TIBERKAK RACHID**

**Session : Juin 2023**

# **REMERCIEMENTS**

*Le plus grand merci revient à Dieu qui lui seul nous a guidé dans le bon sens durant notre vie et qui m'ont donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.*

*Nous tenons tout d'abord à remercier notre Promoteur Docteur BRICKCHAOUCHE AMINE, le Co-promoteur Professeur TIBERKAK RACHID, et toute l'équipe du centre de recherche en technologies industriels (CRTI) Cheraga, pour leurs patiences, disponibilité et surtout ses conseils avisés, et aussi envers toute personne ayant participé à la progression et l'amélioration de notre mémoire.*

*Nos deuxièmes remerciements sont dédiés aux membres du jury, qui ont acceptés d'évaluer notre mémoire et d'être présent lors d'une des journées les plus marquantes de notre parcours scolaire.*

*Sans oublier nos parents, qui sans leurs aides, nous ne serions jamais arrivées là.*

# ***DEDICACES***

*Nous dédions ce travail à nos très chers parents qui nous ont données de l'énergie, le courage et pousses dans les bonnes conditions pour terminer ce travail.*

*.....Et à nos chers amis qui ont partagé nos joies et nos peines, et à tous ceux qui ont avancé dans la promotion 2022/2023.*

*Tous ceux qui n'ont aidé dans le travail, de loin ou de près, ont donné des conseils et des encouragements.*

# *Table des matières*

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICACES</b> .....	<b>iii</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>iv</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>vii</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>ix</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>x</b>
<b>Liste des symboles</b> .....	<b>xi</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : Généralités sur les machines d'électroérosion</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2 Historique</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 Définition</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4 Différents types d'Electroérosion</b> .....	<b>5</b>
1.4.1 Electroérosion par fil .....	<b>5</b>
1.4.2 L'électroérosion par enfonçage .....	<b>6</b>
1.4.3 Electroérosion par forage .....	<b>6</b>
<b>1.5 Electroérosion par fil</b> .....	<b>7</b>
<b>1.6 Début d'électroérosion par fil</b> .....	<b>8</b>
<b>1.7 Fonctionnement D'électroérosion par fil</b> .....	<b>8</b>
<b>1.8 Les avantages et les inconvénients d'électroérosion par fil</b> .....	<b>9</b>
<b>1.9 Conclusion</b> .....	<b>11</b>
<b>CHAPITRE II : Choix de différentes pièces de la machine</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Introduction</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Le fonctionnement visé</b> .....	<b>13</b>
<b>2.3 Les composants normalisés</b> .....	<b>14</b>
2.3.1 Systèmes et options possibles.....	<b>14</b>
2.3.2 Système de guidage.....	<b>15</b>
2.3.2.1 Poulie .....	<b>15</b>
2.3.2.2 Les glissières .....	<b>16</b>
2.3.3 Système de transmission .....	<b>17</b>
2.3.3.1 Courroie et pignon .....	<b>17</b>

2.3.3.3 Vis trapézoïdale et écrou .....	18
<b>2.3.4 Système de mouvement .....</b>	<b>18</b>
2.3.4.1 Les moteurs .....	18
2.3.4.2 Définition d'un moteur pas à pas .....	19
2.3.4.3 inducteurs vibratoires .....	20
<b>2.3.5 Système de fixation .....</b>	<b>20</b>
2.3.5.1 Vis et écrous .....	20
2.3.5.2 Accouplements .....	21
<b>2.3.6 Système électroniques .....</b>	<b>22</b>
2.3.6.1 Driver moteur pas à pas .....	22
2.3.6.2 Alimentation .....	22
2.3.6.3 Capture de fin de course .....	23
2.3.6.4. Bouton d'arrêt d'urgence .....	23
2.3.6.5. Carte Arduino .....	24
<b>2.3.7. Système lubrifiant .....</b>	<b>24</b>
2.3.7.1. Pompe de lubrification .....	24
<b>2.4 Centre de gravité de la machine .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5 Choix de matériaux .....</b>	<b>25</b>
<b>2.6 Circuit de fluide de lubrification .....</b>	<b>26</b>
<b>2.7 Le circuit de fil .....</b>	<b>27</b>
<b>2.8 Conclusion .....</b>	<b>28</b>
<b>CHAPITRE III : Etude et vérification .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Introduction .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Dimensionnement des moteurs .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.1 Le Couple .....</b>	<b>30</b>
3.2.1.1 Le rendement .....	31
3.2.1.2 Couple Moteur $C_x$ .....	32
3.2.1.3 Couple Moteur $C_y$ .....	32
<b>3.2.2 La puissance .....</b>	<b>33</b>
3.2.2.1 La puissance $P_x$ .....	33
3.2.2.2 La puissance $P_y$ .....	33
<b>3.2.3 Calculs des courroies .....</b>	<b>33</b>
3.2.3.1 Le rapport de transmission .....	33
3.2.3.2 Calculer la vitesse linéaire $V$ .....	34
3.2.3.3 La longueur théorique des courroies $L_{Th}$ .....	34
3.2.3.4 Calculer angle d'enroulement sur la petite poulie .....	35
3.2.3.5 Le nombre de courroie $N_c$ .....	36
<b>3.2.4 Calcule de résistance du fil et de la courroie .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Calcul RDM .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.1 Etude de flexion sur le système de guidage de l'axe X (Les glissières) par la méthode RDM .....</b>	<b>39</b>
3.3.1.1 Calcule des réactions aux appuis .....	40
3.3.1.2 Calcule de l'effort tranchant $T(x)$ et du moment fléchissant $M(x)$ .....	40
<b>3.3.2 Définition de logiciel RDM6 .....</b>	<b>42</b>
3.3.2.1 Validation par logiciel RDM6 .....	43
<b>3.3.3 Calculs des contraintes en flexion .....</b>	<b>44</b>

3.3.3.2	Calculs des contraintes de flexion pour la pièce 3B.....	45
3.3.3.3	Calculs des contraintes en flexion pour la pièce 3D.....	46
<b>3.4</b>	<b>Critère de Von Mises .....</b>	<b>47</b>
<b>3.5</b>	<b>Simulation SolidWorks.....</b>	<b>48</b>
3.5.1	Informations sur le modèle de translation (système de guidage de l'axe Y) .....	48
3.5.2	Propriétés mécanique des matériaux.....	49
3.5.3	Action extérieure .....	50
3.5.4	Forces résultantes.....	51
3.5.5	Information sur le maillage .....	51
3.5.6	Résultats de l'étude .....	52
<b>3.6</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>53</b>
<b>CHAPITRE IV : Conception par SolidWorks .....</b>		<b>54</b>
<b>4.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>Définition de logiciel SolidWorks .....</b>	<b>55</b>
<b>4.3</b>	<b>Composants réalisés.....</b>	<b>55</b>
4.3.1	Châssis.....	55
4.3.2	Porte outil.....	56
4.3.3	Plaque de fixation .....	56
4.3.4	Les plaques de support de l'axe X et Y.....	57
4.3.5	Porte pièce.....	58
4.3.6	Dévidoirs .....	59
4.3.7	Support du moteur pas à pas.....	59
<b>4.4</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>60</b>
<b>Conclusion générale .....</b>		<b>61</b>
<b>Références .....</b>		<b>63</b>
<b>Annexe .....</b>		<b>65</b>

# *Liste des figures*

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1.1 :</b>	Machine d'électroérosion par fil	<b>5</b>
<b>Figure 1.2 :</b>	Machine d'électroérosion par enfonçage	<b>6</b>
<b>Figure 1.3 :</b>	Système de perçage des trous par EE	<b>7</b>
<b>Figure 1.4 :</b>	Schéma de trajectoire du fil dans WEDM	<b>9</b>
<b>Figure 2.1 :</b>	Système complet de la machine	<b>13</b>
<b>Figure 2.2 :</b>	Translation des axes de la machine	<b>14</b>
<b>Figure 2.3 :</b>	Poulies	<b>15</b>
<b>Figure 2.4 :</b>	Glissières	<b>16</b>
<b>Figure 2.5 :</b>	Courroie et pignon	<b>17</b>
<b>Figure 2.6 :</b>	Vis trapézoïdale	<b>18</b>
<b>Figure 2.7 :</b>	Moteur pas à pas	<b>19</b>
<b>Figure 2.8 :</b>	Inducteur vibratoire	<b>20</b>
<b>Figure 2.9 :</b>	Vis et écrous	<b>20</b>
<b>Figure 2.10 :</b>	Accouplements flexibles	<b>21</b>
<b>Figure 2.11 :</b>	Driver de moteur pas à pas	<b>22</b>
<b>Figure 2.12 :</b>	Alimentation électrique	<b>22</b>
<b>Figure 2.13 :</b>	Capture de fin de course	<b>23</b>
<b>Figure 2.14 :</b>	Bouton d'urgence	<b>23</b>
<b>Figure 2.15 :</b>	Carte Arduino	<b>24</b>
<b>Figure 2.16 :</b>	Pompe de lubrifiants	<b>24</b>
<b>Figure 2.17 :</b>	Centre de gravité de la machine	<b>25</b>
<b>Figure 2.18 :</b>	Plaque de Trespa	<b>26</b>
<b>Figure 2.19 :</b>	Le circuit de fluide dans la machine	<b>26</b>
<b>Figure 2.20 :</b>	Le circuit de fil dans la machine.	<b>27</b>
<b>Figure 3.1 :</b>	Système de guidage de l'axe X et Y	<b>30</b>
<b>Figure 3.2 :</b>	Diagramme d'une vis trapézoïdale	<b>31</b>
<b>Figure 3.3 :</b>	Les pièces assemblées sur axe X.	<b>32</b>
<b>Figure 3.4 :</b>	Les pièces assemblées sur axe Y	<b>32</b>
<b>Figure 3.5 :</b>	Angle d'enroulement	<b>36</b>
<b>Figure 3.6 :</b>	Longueur primitive	<b>36</b>

<b>Figure 3.7 :</b>	Le fil	<b>37</b>
<b>Figure 3.8 :</b>	Courroie trapézoïdale	<b>38</b>
<b>Figure 3.9 :</b>	La charge appliquée sur l'axe X	<b>39</b>
<b>Figure 3.10 :</b>	Les réactions appliquées sur l'axe x en 2D après simplification	<b>39</b>
<b>Figure 3.11 :</b>	Diagramme de l'effort tranchant	<b>42</b>
<b>Figure 3.12:</b>	Diagramme du moment fléchissant	<b>42</b>
<b>Figure 3.13 :</b>	Les réactions appliquées sur l'axe x en 2D par le logiciel Rdm 6	<b>43</b>
<b>Figure 3.14 :</b>	Diagramme des efforts tranchants par le logiciel Rdm 6	<b>44</b>
<b>Figure 3.15 :</b>	Diagramme du moment fléchissant par le logiciel Rdm 6	<b>44</b>
<b>Figure 3.16 :</b>	Composante de système de guidage (Les glissières)	<b>45</b>
<b>Figure 3.17 :</b>	Glissière (3B)	<b>45</b>
<b>Figure 3.18 :</b>	Pièce de glissière 3D	<b>46</b>
<b>Figure 3.19 :</b>	Critère de Von Mises	<b>47</b>
<b>Figure 3.20 :</b>	Système de guidage de l'axe Y	<b>48</b>
<b>Figure 4.1 :</b>	Châssis de la machine	<b>55</b>
<b>Figure 4.2 :</b>	Porte outil.	<b>56</b>
<b>Figure 4.3 :</b>	Plaque de fixation 1	<b>56</b>
<b>Figure 4.4 :</b>	Plaque de fixation 2.	<b>57</b>
<b>Figure 4.5 :</b>	La plaque de support de l'axe X	<b>57</b>
<b>Figure 4.6 :</b>	La plaque de support de l'axe Y.	<b>58</b>
<b>Figure 4.7 :</b>	Porte pièce.	<b>58</b>
<b>Figure 4.8 :</b>	Dévidoirs	<b>59</b>
<b>Figure 4.9 :</b>	Support du moteur pas à pas	<b>59</b>

# *Liste des tableaux*

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1.1 :</b>	Les avantages et les inconvénients d'électroérosion par fil	<b>9</b>
<b>Tableau 2.1 :</b>	Déférents composants mécaniques utilisés dans la machine.	<b>15</b>
<b>Tableau 2.2 :</b>	Avantages et Inconvénients des poulies	<b>16</b>
<b>Tableau 2.3 :</b>	Avantage et inconvénients de glissière	<b>16</b>
<b>Tableau 2.4 :</b>	Avantage et inconvénients des courroies et pignons	<b>17</b>
<b>Tableau 2.5 :</b>	Avantages et inconvénients des vises trapézoïdale et écrou	<b>18</b>
<b>Tableau 2.6 :</b>	Avantages et inconvénients de moteur pas à pas	<b>20</b>
<b>Tableau 2.7 :</b>	Avantages et inconvénients de vises et écrous	<b>21</b>
<b>Tableau 2.8 :</b>	Avantages et inconvénients de Trespa	<b>26</b>
<b>Tableau 3.1 :</b>	Configuration mécanique	<b>30</b>
<b>Tableau 3.2 :</b>	Coefficients de sureté pour différents types de charges	<b>31</b>
<b>Tableau 3.3 :</b>	Longueurs primitives des courroies trapézoïdales	<b>35</b>
<b>Tableau 3.4 :</b>	Coefficient de service	<b>37</b>
<b>Tableau 3.5 :</b>	Résultat du l'effort tranchant et du moment fléchissant par RDM6	<b>43</b>
<b>Tableau 3.6 :</b>	Propriétés des pièces de guidage. (Les glissières)	<b>45</b>

# *Liste des abréviations*

<b>Abréviation</b>	<b>Définitions</b>
EDM	Electrical Discharge Machining
WEDM	Wire Electrical Discharge Machining
CNC	Computerized numerical control
EE	Electroérosion
CC	Courant Continu
AC	Courant Alternatif
HPL	High-Pressure Laminate
RDM	Résistance Des Matériaux
CAO	Conception Assistée par Ordinateur

# *Liste des symboles*

<b>Symbole</b>	<b>Définition</b>
<b>C</b>	Couple [N.m]
<b>C<sub>X</sub></b>	Couple du moteur de l'axe X
<b>C<sub>Y</sub></b>	Couple moteur de l'axe Y
<b>P<sub>X</sub></b>	Puissance du moteur de l'axe X
<b>P<sub>Y</sub></b>	Puissance du moteur de l'axe Y
<b>f</b>	Force axiale sur l'écrou [N]
<b>P</b>	Pas de vis effective [mm]
<b>η</b>	Le rendement
<b>α</b>	L'angle de l'hélice [Degré]
<b>β</b>	L'angle du coefficient de friction [Degré]
<b>F</b>	Coefficient de friction
<b>m</b>	La masse [g] [kg]
<b>g</b>	La gravite [m/s <sup>2</sup> ]
<b>P<sub>t</sub></b>	La puissance totale [W] [KW]
<b>n<sub>d</sub></b>	La vitesse de rotation du moteur [Tr/min.]
<b>n<sub>D</sub></b>	La vitesse de rotation de la poulie réceptrice [Tr/min.]
<b>D</b>	Le diamètre de la poulie réceptrice [mm]
<b>d</b>	Le diamètre de la poulie motrice [mm]
<b>E</b>	L'entraxe souhaité [mm]
<b>R</b>	Le rapport de transmission
<b>v</b>	La vitesse linéaire [m/s]
<b>L<sub>Th</sub></b>	La longueur théorique des courroies [mm]
<b>Θ</b>	Angle d'enroulement [Degré]
<b>K<sub>Θ</sub></b>	Facteur d'arc
<b>P<sub>0</sub></b>	Puissance brute de transmission [W] [KW]
<b>K<sub>L</sub></b>	Facteur de correction de longueur
<b>K<sub>s</sub></b>	Coefficient de service
<b>N<sub>C</sub></b>	Le nombre de courroies
<b>R<sub>e</sub></b>	Limite élastique [MPa]

<b>F</b>	La force [N]
<b>S</b>	La section [mm <sup>2</sup> ]
<b>P</b>	La charge répartie [N]
<b>R<sub>x</sub></b>	Réactions suivant l'axe X [N]
<b>R<sub>y</sub></b>	Réactions suivant l'axe Y [N]
<b>T</b>	Effort tranchant [N]
<b>M<sub>f</sub></b>	Moment fléchissant [N.mm] [N.m]
<b>M<sub>f max</sub></b>	Moment fléchissant maximale [N.mm] [N.m]
<b>R<sub>pe</sub></b>	Résistance pratique élastique [MPa] [Pa]
<b>I<sub>Gz</sub></b>	Moment quadratique [mm <sup>4</sup> ]
<b>b<sub>g</sub></b>	Largeur globale [mm]
<b>h<sub>g</sub></b>	Hauteur globale [mm]
<b>b<sub>v</sub></b>	Largeur vide [mm]
<b>σ<sub>max</sub></b>	Contrainte maximale [MPa] [Pa]

# ملخص

المعادن الصلبة أو المتصلبة بعد المعالجة الحرارية أو الميكانيكية يصعب جدًا معالجتها بالوسائل التقليدية مثل الأدوات والمناشير، تسمح EDM بتشكيلها أو قطعها بسهولة بفضل مبدأ كهربائي يعتمد على الناقلية الكهربائية للمعدن المراد قطعه وأداة (سلك) القطع، النوع المستعمل للقطع بإستعمال السلك المكهرب يسمح بقطع دقيق عند درجة حرارة منخفضة (يتم التشغيل الآلي في سائل مناسب) مما يسمح بتجنب التأثير الحراري المحتمل للمعدن المراد قطعه.

في هذا الموضوع نقترح دراسة وتصميم آلة القطع EDM والعمل مقسم إلى قسمين:

- يحتوي الجزء الميكانيكي على الحل الميكانيكي وجميع الأجزاء والقطع اللازمة.
- يحتوي الجزء الكهربائي والإلكتروني على جميع المكونات اللازمة مثل ملتقط نهاية التشغيل، زر إيقاف الطوارئ، إمدادات الطاقة، المحرك....

يبدأ العمل بدراسة تصميم وأبعاد لمختلف المكونات والأجزاء الميكانيكية وحساب مقاومتها ومن ثمة عرض الأجزاء الكهربائية والإلكترونية

## Résumé

Les métaux durs ou subissant un durcissement suite à un traitement thermique ou mécanique sont très difficilement usinable par les moyens classiques comme les outils et les scies. L'électroérosion permet de les usiner ou découper facilement grâce à un principe électrique basé sur la conductivité électrique du métal à usiner et l'outil (fil) de découpage. La variante par fil permet un découpage précis à faible température (l'usinage se fait dans un bain de liquide approprié) ce qui évite une éventuelle affectation thermique du métal à couper.

Dans ce travail on propose l'étude et la conception d'une machine d'électroérosion de découpage par fil, le travail est scindé en deux parties :

- La partie mécanique contient la solution mécanique et toutes les pièces et sous-ensembles.
- La partie électrique et électronique contient toutes les composantes nécessaires comme les fins de courses, bouton d'arrêt d'urgence, alimentation. moteur pas à pas ....

Le travail commence par une étude de conception et de dimensionnement des différentes composantes et pièces mécaniques, et une présentation des parties électriques et électroniques.

# Abstract

Hard or hardened metals following heat or mechanical treatment are very difficult to machine by conventional means such as tools and saws, EDM allows them to be machined or cut easily thanks to an electrical principle based on the electrical conductivity of the metal to be machined and the tool (wire) of cutting. The variant by wire allows precise cutting at low temperature (machining is done in an appropriate liquid bath) which avoids possible thermal affectation of the metal to be cut. In this work we propose the study and the design of a wire cutting EDM machine, the work is divided into two parts:

- The mechanical part contains the mechanical solution and all components and sub-systems.
- The electrical and electronic part contains all necessary components such as limit switches, emergency stop button, power supply. stepper motor ....

The work begins with a design and dimensioning study of the various mechanical components and a presentation of electrical and electronic components and parts.

# ***INTRODUCTION GENERALE***

Le principe d'usinage par électroérosion s'est inscrit dans le domaine d'usinage et façonnage des métaux après la deuxième guerre mondiale. A l'époque les ingénieurs et scientifiques pensent à utiliser des phénomènes indésirables à des fins utiles. Un ingénieur russe a remarqué une rapide usure des charbons dans un moteur d'un charre à cause des étincelles. Il a vite compris que ce phénomène peut être utilisé pour l'enlèvement de matière, Ceci a donnée naissance à cette technique d'usinage.

Deux types nécessaires de machine d'électroérosion existent depuis :

- L'électroérosion par enfoncement de métal, qui est utilisée principalement pour la production de moules métalliques. Le moule initialement en forme de lingot, prend progressivement la forme de l'outil au fur et à mesure que ce dernier pénètre dans le lingot par enfoncement et enlèvement de matière due à l'étincelage. Le moule est généralement produit par usinage sur fraiseuse usuelle par un centre d'usinage CNC ou par moulage en sable suivi d'un usinage de finition.

- Le découpage par fil est un deuxième type. Il est très utilisé de par sa capacité de découpage des métaux, en fonction de leur conductivité électrique a que soit sa dureté et son épaisseur le métal est découpé grâce à l'enlèvement local du métal due à l'étincelage a l'approche du fil de métal à découper. Le fil électrifié pénètre par étincelage dans la matière à usiner, ainsi il permet de découper la pièce métallique suivant un chemin donné. Les techniques de déplacement commandé numériquement couplé à cette technique permettent des trajectoires complexes de l'outil. Ainsi, des formes de découpage complexes peuvent être effectuées.

Considérant le deuxième type, la technique demeure déficiente sur deux plans :

- Sur le plan du choix de métal du fil de découpage en fonction du métal de la pièce à usiner. Des ingénieurs travaillent de ce domaine, et en procédant par essais, on mit à la disposition du publique des tableaux dans lesquels ils précisent les types de fil à choisir pour usiner un métal donné.

- Sur le plan vitesse de coupe, et en fonction du type de métal à usiner et sa dureté, les ingénieurs qui travaillent sur cette technique, et en procédant par essais, ont constaté que le choix des propriétés du courant électrique communiqué au fil est très important. Depuis ils ont

commencé à travailler sur la partie électrique de la machine, et des solutions diverses existent maintenant.

- Sur le plan état de surface après découpage, et en fonction du type de métal à usiner et sa dureté, les ingénieurs qui travaillent sur cette technique, et en procédant par essais, ont précisé l'importance du choix du courant électrique communiqué au fil.

La partie électrique est très importante, le développement de circuits électriques avancés permet d'améliorer énormément les capacités d'usinage. Cette partie très importante de la machine à connue principalement deux variantes au fil du temps :

- Resistor-Capacitor circuit : ou circuit R-C. Celui-ci est basé sur le montage des capacités et résistances dont les propriétés électriques sont bien choisies pour générer le circuit électrique désiré. Malgré son efficacité, ce type de par la capacité de chargement limité des capacités, leur encombrement et la difficulté de refroidissement, limite énormément les capacités de la machine en termes de vitesse de coupe, et produit des état de surface faibles.

- Pulse circuit : Un type de circuit basé sur des circuits intégrés à la place des capacités et résistances pour générer des courants électriques avec des propriétés élevées, ceci améliore énormément les performances de l'usinage et permet des vitesses de coupe élevées ainsi que des états de surfaces meilleurs.

Des machines EDM (Electrical Discharge Machining) industrielles existent dans le marché. Leur cout est très élevé et restent réservées aux entreprises et industrielles ayant les capacités financières, cependant des tentatives de produire des machines à cout modéré au profit de particulier et amateurs d'usinage n'ont pas cessé depuis la publication des livres de Robert Longlois et Elman C. Jameson.

Dans ce contexte, Notre étude est initiée dans le but est de concevoir une machine de découpage des métaux par fil.

Le mémoire commence par une introduction générale, puis un état de l'art de la technique en générale dans le chapitre I. Le chapitre II est dédié au dimensionnement et aux choix des solutions technologiques et pièces normalisées. En suite le chapitre III est dédié au calcul de résistance RDM, analyse des contraintes, vérification des puissances du moteur et calcul des courroies et résistance du fil. Le dernier chapitre est consacré la conception assistée par le logiciel CAO Solid-Works. Le mémoire se termine par une conclusion générale.

# ***CHAPITRE I***

## ***Généralités sur les machines d'électroérosion***

## 1.1 Introduction

L'électroérosion est une technique d'usinage puissante avec des capacités non conventionnelles pour usiner n'importe quel matériau conducteur, elle est utilisée pour tailler des pièces métalliques de formes complexes avec une grande précision. Ce processus est réalisé en utilisant des décharges électriques à haute fréquence pour éroder ou vaporiser des matériaux métalliques. Elle est largement utilisée dans les industries de la fabrication de moules et matrices, de l'aérospatiale, de l'automobile, de l'électronique et de la bijouterie. Elle est particulièrement utile pour tailler des matériaux durs tels que le carbure, le titane et l'acier inoxydable [1].

## 1.2 Historique

Les racines historiques de l'EDM peuvent être retracées depuis la découverte de l'électricité. Est-il est passée de différents générations est ingénieurs dans plusieurs pays du monde, pendant des décennies. Le développement de l'EE a été un processus continu impliquant les contributions de nombreux scientifiques et ingénieurs [2].

Les différentes étapes de développement de cette méthode sont :

- 1770 : Le physicien britannique Joseph Priestley découvre le phénomène d'électricité en remarquant les dégâts causés par une étincelle électrique sur une feuille de papier.
- 1800 : Le chimiste britannique William Nicholson utilise l'électro-corrosion pour séparer l'eau en oxygène et en hydrogène.
- 1877 : L'ingénieur russe Ivan Osipovich Gubkin fait une étude sur l'utilisation de l'électro-corrosion pour percer des trous dans le métal.
- 1943 : Le physicien français André Blondel invente la machine à décharge électrique moderne, qui coupe le métal à l'aide du fil fin.
- 1957 : La société suisse Agie introduit la première machine d'électroérosion industrielle.
- 1960 : Le japonais Kenichi Matsuura et son équipe mettent au point la technologie d'électroérosion à fil, qui permet de découper des formes complexes avec une grande précision.
- 1970 : L'ingénieur américain Karl Sommer invente la machine d'électroérosion à commande numérique par ordinateur (CNC), qui peut être programmée pour découper des formes complexes.

- 1980 : EDM devient une technique commune dans l'industrie du moulage et de la fabrication de matrices pour la production de pièces métalliques.

### 1.3 Définition

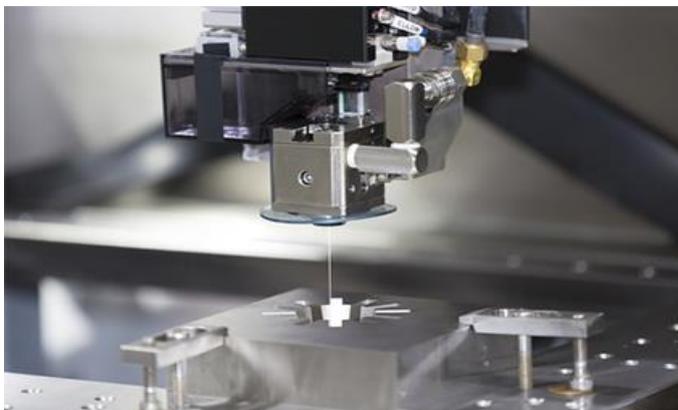
L'électroérosion, également connue sous le nom EDM (Electric Discharge Machining), est un processus de fabrication où l'on utilise des décharges électriques pour enlever de la matière d'un matériau conducteur. Le processus consiste à créer une étincelle électrique entre une électrode, souvent en laiton ou en cuivre, et la pièce à usiner, qui est généralement un métal dur tel que l'acier. La chaleur générée par l'étincelle électrique fond le matériau de la pièce à usiner, qui est ensuite érodé par l'action de l'étincelle électrique. Ce processus est souvent utilisé pour fabriquer des pièces à haute précision dans l'industrie aéronautique, automobile et électronique, où la précision et la qualité de surface sont cruciales [2].

### 1.4 Différents types d'Electroérosion

#### 1.4.1 Electroérosion par fil

Il utilise un fil fin comme électrode pour enlever des matériaux. Le fil est déplacé à travers la pièce à usiner à l'aide d'une machine de coupe à fil. Ce processus est principalement utilisé pour couper des formes complexes dans les pièces en métal et en alliage.

WEDM (Figure 1.1) joue un rôle très nécessaire dans l'industrie moderne, il est utilisé pour les formes compliquées sur des matériaux de pointe avec beaucoup de précision, est devenu l'un des plus grands procédés d'usinage non classiques. Aussi pour les matrices et moules visant à produire des composants pour de nombreuses industries.



**Figure (1.1)** Machine d'électroérosion par fil [3]

### 1.4.2 L'électroérosion par enfonçage

L'usinage par enfonçage (Figure 1.2) utilise la décharge d'une électrode essentiellement 2D. Cette électrode 2D peut avoir une extrémité complexe en forme de 3D qui est plongée à plusieurs reprises à l'arc éroder dans l'œuvre et soulevé une courte distance sur l'axe Z pour dégager les débris. Cette électrode peut avoir n'importe quelle forme transversale et une forme d'extrémité complexe (sans alésages). Pour l'usinage des plombs, des électrodes précises en cuivre et/ou en graphite sont d'abord usinées à la forme désirée de la cavité, puis utilisées pour éroder la forme en matériaux durs. EE par enfonçage est largement utilisé dans les secteurs du moulage par injection et du moulage sous pression.

Il est utilisé pour rendre la complexité non usinable et les caractéristiques de cavité finement détaillées dans les moules sans imposer aucune contrainte d'usinage ou d'impact sur le moule. Il réduit également le besoin de post-traitement pour l'amélioration de la qualité de surface ou le durcissement [3].



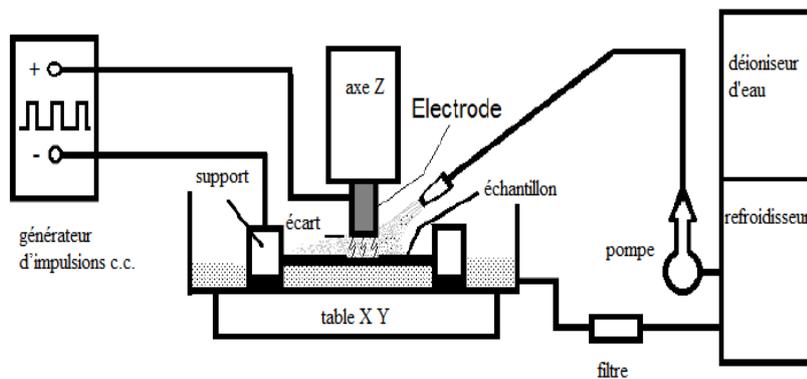
Figure (1.2) Machine d'électroérosion par enfonçage

### 1.4.3 Electroérosion par forage

Le forage d'EE était destiné à créer des ouvertures rapides, précises, petites et profondes. Il est théoriquement similaire à l'EE par enfonçage, mais l'électrode est un tube creux qui est utilisé pour enlever des matériaux par aspiration, C'est une méthode décente pour usiner des ouvertures dans des matériaux déraisonnablement difficiles pour l'usinage par torsion [3].

Cette méthode de forage est surtout utilisée dans l'industrie aérosapiale pour créer des ouvertures de refroidissement dans les pales et autres composants d'un aéronef, est également

pour pénétrer les ouvertures dans les aubes de turbines à gaz modernes, dans les moules, les matrices et même sur les roulements. En toutes circonstances, les meilleures entreprises d'usinage à décharge électrique seront toujours en mesure de décider quelle méthode fonctionnera bien pour votre matériau. La figure (1.3) montre le circuit de perçage des trous par EE.



**Figure (1.3)** Système de perçage des trous par EE

## 1.5 Electroérosion par fil

Les nouveaux matériaux créés et demandés par la technologie spatiale ne peuvent pas être coupés à l'aide d'outils de coupe conventionnels. Des matériaux spéciaux, super-durs, normalement très chers, sont nécessaires. Les diamants synthétiques ou les composés diamantaires qui sont presque impossibles à mouler sont très chers, mais sont coupés efficacement par ce nouveau type.

Dans l'industrie de fabrication moderne, cette machine a été largement utilisée pour usiner des formes compliquées sur des matériaux avancés avec une grande précision. C'était l'un des procédés d'usinage non conventionnels les plus étendus. Il est largement utilisé pour la fabrication de matrices et de moules destinés à la production des composants pour de nombreuses industries. Le principal avantage d'EEF est sa capacité à produire des formes de haute complexité avec un haut degré de précision, indépendamment des propriétés mécaniques du matériau (en particulier, dureté, fragilité et résistance). EEF utilise le laiton, le tungstène ou le cuivre comme matériau pour le fil d'outil d'électrode. L'eau déionisée est utilisée pour le fluide diélectrique. Presque comme l'EE standard, le fil est érodé et lentement alimenté. Bien qu'il soit similaire à l'EE standard, des courants plus élevés et des temps de repos plus courts accélèrent ce processus [3].

## **1.6 Début d'électroérosion par fil**

En 1969, la société suisse Agie produit le premier WEDM au monde machine. Typiquement, ces premières machines au début des années 70 étaient extrêmement lentes, coupant environ 21 millimètres carrés à l'heure (21 mm<sup>2</sup>/min.). Leur vitesse a augmenté au début des années 80 à 64 millimètres carrés à l'heure (64 mm<sup>2</sup>/min). Aujourd'hui, les machines sont équipées de filetage automatique et peuvent couper plus de 20 fois plus vite que les anciennes machines.

## **1.7 Fonctionnement D'électroérosion par fil**

WEDM (Wire Electrical Discharge Machining) est une forme spéciale d'usinage par décharge électrique dans laquelle l'électrode est un fil conducteur en mouvement continu. L'enlèvement du matériau est effectué à la suite de l'érosion par étincelles lorsque l'électrode est introduite (à partir d'une bobine) à travers la pièce.

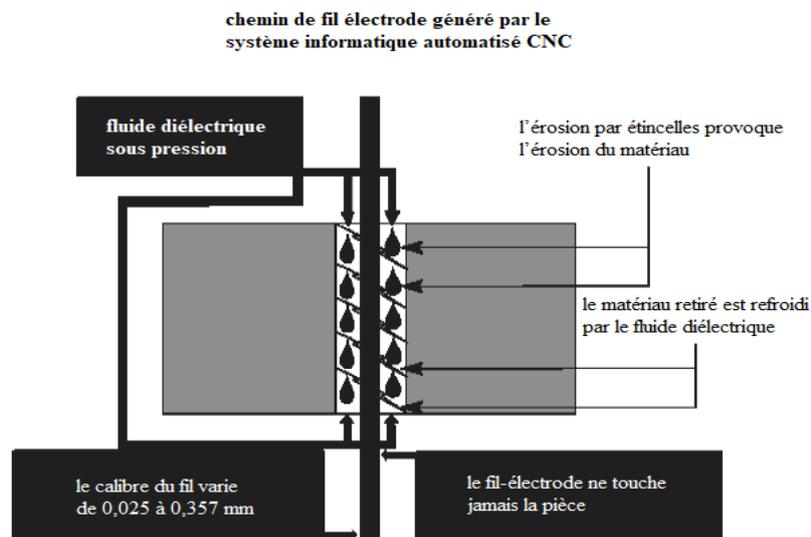
Entre le fil et la pièce à travailler se trouve un bouclier d'eau d'ionisée, appelé fluide diélectrique. L'eau pure est un isolant. Pour contrôler la conductivité de l'eau, ce dernier passe par un réservoir de résine pour éliminer une grande partie de ses éléments conducteurs ; c'est ce qu'on appelle l'eau d'ionisée.

Lorsqu'une tension suffisante est appliquée, le fluide s'ionise. Ensuite, une étincelle contrôlée érode précisément une petite partie de la pièce à travailler, ce qui la fait fondre et se vaporiser. Ces impulsions électriques sont répétées des milliers de fois par seconde. Le fluide de refroidissement sous pression, le diélectrique, refroidit le métal vaporisé et expulse les particules érodées solidifiées de l'espace.

Le fluide diélectrique passe par un filtre qui élimine les solides en suspension. La résine élimine les particules dissoutes, les filtres éliminent les particules en suspension. Pour maintenir la précision de la machine et de la pièce, le fluide diélectrique circule dans un refroidisseur pour maintenir le liquide à une température constante.

Dans ce processus, qui est similaire à la coupe de contour avec la scie à ruban, un fil se déplace lentement le long du chemin prescrit, coupant la pièce de travail, avec les étincelles de décharge agissant comme des dents coupantes. Ce procédé est utilisé pour couper des plaques aussi épaisses que 300 mm et pour faire des poinçons, des outils et des matrices de métaux durs. Il peut également couper des composants complexes pour l'industrie électronique. Le fil d'outil est généralement composé de laiton, de cuivre ou de tungstène ; zinc ou laiton et multifils enduits sont également utilisés. Le diamètre du fil est généralement d'environ 0,30 mm pour les coupes dégrossisseuses. Le fil devrait avoir une résistance à la

traction et une ténacité à la rupture suffisante, ainsi qu'une conductivité électrique élevée et une capacité à éliminer les débris produits pendant le découpage. Le fil d'outil est généralement utilisé une seule fois, car le fil se déforme et perd sa résistance à la traction. Le fil se déplace à une vitesse constante dans une plage, et un écart constant (trait de scie) est maintenu pendant la coupe. La figure (1.4) montre le trajet du fil produit par le système informatique automatisé CNC. Un servo CC ou AC maintient un espace de 0,051 à 0,076 mm entre l'électrode métallique et la pièce à usiner. Le servomécanisme empêche le fil électrode de court-circuiter contre la pièce de travail et avance la machine comme il coupe la forme désirée. Parce que le fil ne touche jamais la pièce, WEDM est une opération de coupe sans contrainte.



## 1.8 Les avantages et les inconvénients d'électroérosion par fil

Les avantages et les inconvénients de l'électroérosion sont cités dans le tableau (1.1) suivant.

**Tableau (1.1)** Avantages et inconvénients d'électroérosion par fil

Avantages	Inconvénients
<p><b>Améliorer l'efficacité de la production :</b> Les électrodes EEF utilisent des fils métalliques de 0,03-0,35mm. WEDM peut produire des pièces à haute tolérance sans</p>	<p><b>Temps de traitement :</b> L'électroérosion par fil prend plus de temps par rapport à autres méthodes d'usinage, en particulier pour les pièces de grande taille et les formes</p>

bavures ou déformation et peut traiter des pièces de production en une seule étape, économique et rapide, et peut améliorer considérablement l'efficacité de production

**Large gamme de traitement :**  
L'électroérosion par fil peut couper des métaux très durs facilement et peut traiter des matériaux qui ne peuvent être traités par d'autres procédés, et le matériau peut être coupé après un traitement thermique évitant ainsi les problèmes de déformation causés par le traitement thermique du produit.

**Haute précision :** il permet de réaliser des coupes avec une précision à l'échelle microscopique, même pour les matériaux les plus durs et pour les formes complexes, aussi pour les pièces nécessitant une grande précision, cela élimine le besoin d'usinage et de finition supplémentaires des pièces après l'usinage.

**Aucune contrainte mécanique :**  
contrairement à d'autres méthodes de fabrication, l'électroérosion par fil n'exerce aucune contrainte mécanique sur la pièce à usiner, ce qui permet de travailler avec des matériaux fragiles ou délicats.

complexes ou il y a des trajets longs.

**Haute consommation d'énergie :**  
L'électroérosion par fil utilise une grande quantité d'énergie électrique pour générer la décharge électrique nécessaire à l'érosion du matériau.

**Limitation du matériau :** L'électroérosion par fil est généralement limitée aux matériaux conducteurs tels que les métaux et les alliages. Les matériaux non conducteurs sont difficiles à usiner avec cette méthode.

**Coût élevé :** L'équipement nécessaire pour l'électroérosion par fil est coûteux, en particulier les machines à fil à grande vitesse et les fils de coupe.

## **1.9 Conclusion**

L'électroérosion offre de nombreux avantages par rapport aux méthodes de fabrication classiques. Y compris la capacité d'usiner des matériaux très durs, ainsi que la capacité de créer des parties de formes complexes avec une haute précision. Pour cela les fabricants doivent évaluer les avantages et les inconvénients de cette méthode en fonction de leurs besoins et de leur budget pour déterminer si elle est la meilleure option pour leurs projets spécifiques.

## ***CHAPITRE II***

### ***Choix de différentes pièces de la machine***

## 2.1 Introduction

Le choix de différentes pièces de la machine (Figure (2.1)) est une étape critique dans la conception de ce type d'équipement. Il comprend la définition des spécifications nécessaires pour obtenir des performances optimales, en tenant compte des contraintes techniques et économiques. Lors de l'usinage de matériaux difficiles à usiner, une analyse approfondie des paramètres WEDM est essentielle pour garantir des résultats satisfaisants.

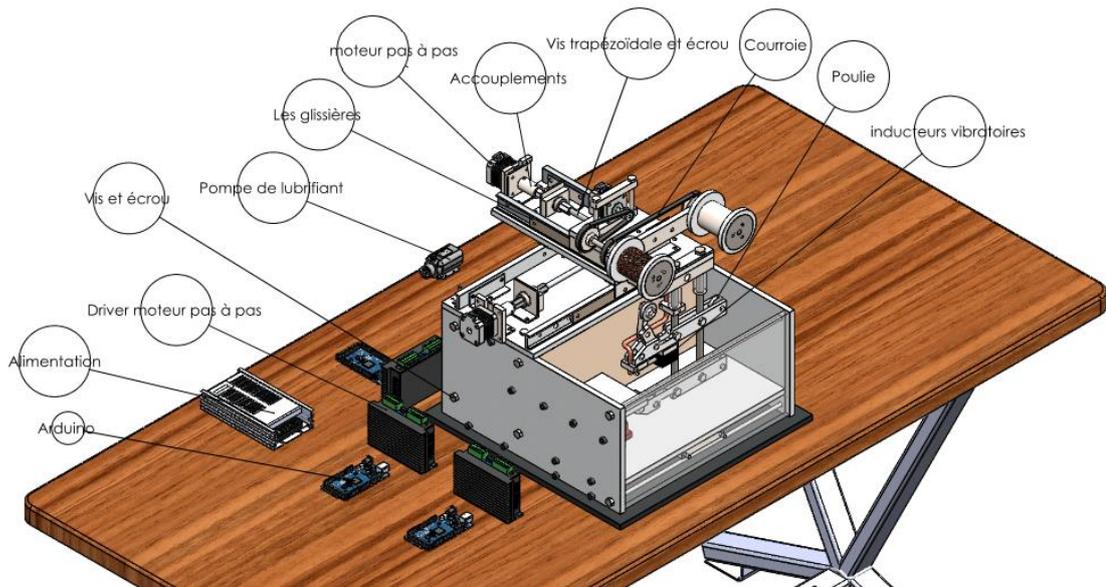


Figure (2.1). Système complet de la machine

## 2.2 Le fonctionnement visé

Nous avons développé une machine spécifiquement conçue pour effectuer des découpes par électroérosion à fil sur des matériaux conducteurs tels que les métaux. Cette méthode de découpe offre une précision des mouvements, une répétabilité et une productivité optimales, ainsi que la capacité d'effectuer des opérations complexes.

La machine est contrôlée par un système automatisé utilisant une carte Arduino pour piloter les mouvements du fil. Les axes X et Y (Figure 2.2) se déplacent selon un programme préétabli pour chaque forme et pièce.

Le composant actif de la machine est un fil fin de cuivre tendu entre deux bobines, guidé avec précision. Une décharge électrique à haute fréquence est envoyée à travers le fil, créant une étincelle contrôlée entre le fil et la pièce. L'énergie de cette étincelle vaporise le matériau, formant ainsi une cavité initiale dans la pièce.

La machine est équipée d'un réservoir d'eau diélectrique (eau déminéralisée), qui joue le rôle d'un milieu pour le processus d'usinage. Avant de commencer, la pièce à usiner est solidement fixée sur la porte pièce émergée dans le réservoir d'eau diélectrique. Une fois le

programme envoyé à la carte la machine est allumée, elle exécute les différentes instructions du programme jusqu'à sa fin.

Lorsque le processus d'usinage est terminé, la machine s'arrête automatiquement. Pour garantir la sécurité, la machine est équipée de plusieurs dispositifs tels que des fins de course, des boutons d'arrêt d'urgence et des systèmes de lubrification.

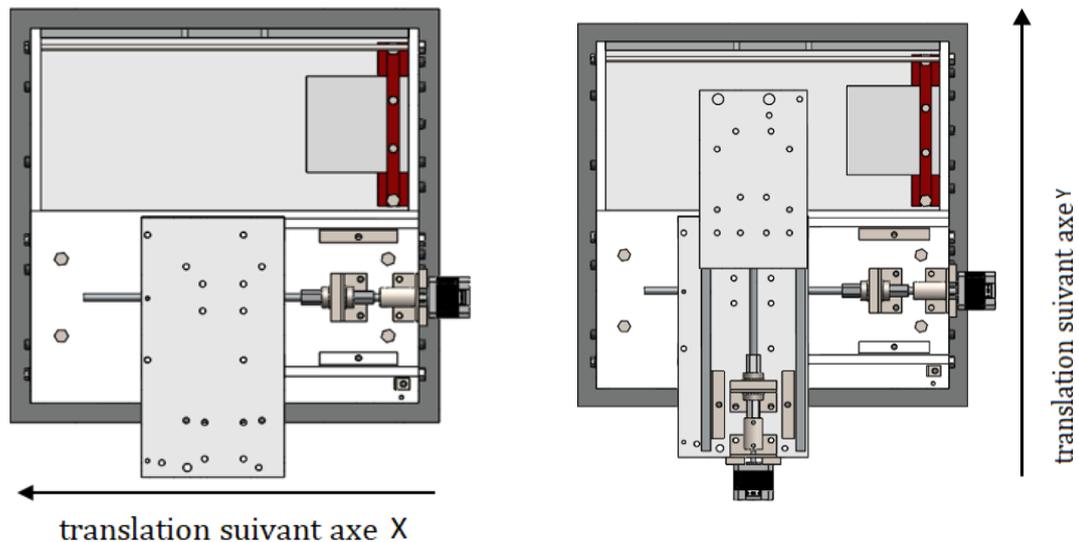


Figure (2.2) Translation des axes de la machine

## 2.3 Les composants normalisés

### 2.3.1 Systèmes et options possibles

Nous avons un certain nombre de systèmes avec divers composants à considérer et chacun a des options, solutions et choix des pièces standard et préfabriquées qui répondent à nos besoins. Notre sélection se fait en fonction des critères objectifs définie dans le tableau (2.1).

Tableau (2.1). Différents composants mécaniques utilisés dans la machine.

Système de guidages	Système de transmissions	Système du mouvement	Système de fixations	Système électroniques	Système lubrifiants
---------------------	--------------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	---------------------

- Poulies. - Glissières	-Courroies. -Vis trapézoïdale.	-Moteurs. - Inducteur vibratoire.	- Système de vis et écrou. -Accouplements.	-Pilots de moteurs pas à pas. -Alimentation. -Intercepteur de fin de course. -Bouton d'urgence. -Arduino.	-Pompe de lubrifiant. -Fluide diélectrique.
----------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	---	---	--

Basé sur les catalogues des fabricants, le choix des composants a été fait, ceci répond le mieux à nos besoins en ce qui concerne les pièces préfabriquées.

## 2.3.2 Système de guidage

### 2.3.2.1 Poulie



**Figure (2.3).** Poulies

Le rôle principal d'une poulie Figure (2.3) est de faciliter la transmission de la force en changeant la direction de la force ou en réduisant la force nécessaire pour déplacer une charge et aussi le guidage du fil qui se fait en utilisant quatre poulies comme il est montré sur la Figure (2.20) [5].

Le tableau (2.2) regroupe les avantages et les inconvénients des poulies.

**Tableau (2.2).** Avantages et Inconvénients des poulies.

Avantages	Inconvénients
-----------	---------------

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Souplesse de la transmission.</li> <li>- Possibilité de faire varier l'entraxe.</li> <li>- Pas de lubrification.</li> <li>- Silencieux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perte d'efficacité.</li> <li>- Frottement.</li> <li>- Rapport de transmission irrégulier du au glissement.</li> </ul>
---	--

### 2.3.2.2 Les glissières



**Figure (2.4).** Glissières

Les glissières (figure (2.4)) sont également utilisées dans les applications où une précision élevée est requise, les erreurs sont habituellement mesurées à l'échelle micrométrique. Elles sont utilisées dans les deux guidages des axes X et Y, pour assurer le mouvement et augmenter la précision. Quatre glissières sont utilisées (deux glissières pour chaque axe) qui assurent le processus d'avancement des ensembles des axes (voir figure 2.1). Les avantages et les inconvénients des glissières sont regroupés dans le tableau (2.3)

**Tableau (2.3).** Avantages et inconvénients des glissières.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible friction.</li> <li>- Précision.</li> <li>- Mouvement fluide.</li> <li>- Durabilité.</li> <li>- Facilité d'installation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibilité à la saleté.</li> <li>- Nécessité de lubrification.</li> <li>- Bruit.</li> <li>- Limitations de température.</li> </ul>

## 2.3.3 Système de transmission

### 2.3.3.1 Courroie et pignon



**Figure (2.5).** Courroie et pignon.

Le système courroie-pignon est utilisé pour transmettre la puissance du moteur à l'axe relié avec les bobines pour engendrer la rotation continue du fil de découpage.

Il existe quatre pignons, le premier est relié avec le moteur (Nema 17), les trois autres sont reliés au niveau d'arbres des bobines. Ce système nécessite deux courroies [6].

Nous avons répertorié les avantages et les inconvénients du système courroies et pignons dans le tableau (2.4) pour une meilleure organisation et comparaison.

**Tableau (2.4).** Avantage et inconvénients des courroies et pignons.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Il offre une grande flexibilité de conception.</li><li>- Une transmission de puissance efficace et précise.</li><li>- Plus silencieux que certains autres systèmes de transmission de puissance.</li><li>- Il résiste à l'usure et nécessite moins d'entretien.</li><li>- Il n'est pas coûteux.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Risque de glissement à grandes vitesses.</li><li>- Rendement faible à haute température.</li><li>- Usure à grande vitesse.</li><li>- Système de transmission compliqué à l'étude et calculé.</li></ul>

### 2.3.3.3 Vis trapézoïdale et écrou



Figure (2.6) Vis trapézoïdale

Les vis trapézoïdales, ce sont des barres métalliques avec un filetage, similaire à une vis traditionnelle. Les vis trapézoïdales tournent et l'écrou se déplace sur la vis de façon linéaire [7].

Nous avons utilisé deux vis trapézoïdales (Figure 2.6) dans chaque ensemble (X, Y) pour convertir les mouvements de rotations des moteurs vers un mouvement linéaire qui donne l'avancement des systèmes.

Le tableau (2.5) résume les avantages et les inconvénients des vis trapézoïdales.

Tableau (2.5). Avantages et inconvénients des vis trapézoïdales et écrous.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Efficacité.</li><li>- Précision.</li><li>- Résistance.</li><li>- Durabilité</li><li>- Facilité d'installation.</li><li>- Disponibilité</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Entretien régulier.</li><li>- Vitesse limitée.</li><li>- Usure.</li><li>- Nécessite des écrous spéciaux pour réduire le jeu et les vibrations.</li></ul>

### 2.3.4 Système de mouvement

#### 2.3.4.1 Les moteurs [8]

Le choix d'un moteur électrique varie en fonction d'un certain nombre de facteurs, y compris :

1. La puissance requise.
2. Le couple requis.
3. La tension et la fréquence d'alimentation.

4. La vitesse de rotation.
5. La taille et le poids du moteur.

Il existe plusieurs types de moteurs et chacun possède ses propres caractéristiques avec ses avantages et ses inconvénients. Nous mentionnons :

- Moteurs à courant continu (CC).
- Moteurs à courant alternatif (AC).
- Moteurs synchrones.
- Moteurs asynchrones.
- Moteurs pas à pas.
- Moteurs linéaires.

Dans les conditions du travail de cette machine avec un type d'application de faible charge et rotation on n'est pas besoin d'un grand couple, donc on peut choisir un moteur pas à pas

#### 2.3.4.2 Définition d'un moteur pas à pas

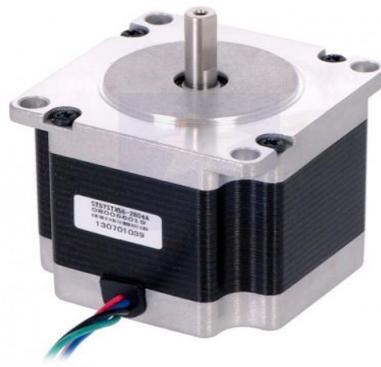


Figure (2.7). Moteur pas à pas.

Un moteur pas à pas (Figure 2.7) est un moteur électrique dont la principale caractéristique est que son arbre tourne en effectuant des étapes, c'est-à-dire en se déplaçant par une quantité fixe de degrés. Cette caractéristique est obtenue grâce à la structure interne du moteur, et permet de connaître la position angulaire exacte de l'arbre en comptant simplement comment les étapes peuvent effectuées, sans avoir besoin d'un capteur. Cette fonctionnalité le rend également adapté à un large éventail d'applications [8].

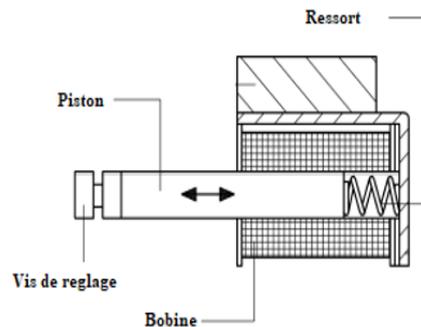
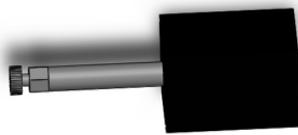
Dans notre machine on a utilisé deux moteurs Nema 23 qui sont reliés au vis trapézoïdales à travers des accouplements, pour assurer l'avancement des axes X, Y. Le troisième moteur Nema 17 est utilisé pour la rotation des bobines du fil.

Le tableau (2.6) montre les avantages et les inconvénients des moteurs pas à pas

**Tableau (2.6).** Avantages et inconvénients de moteur pas à pas.

Avantages	Inconvénients
-Précision de positionnement. -Faible coût. -Large gamme de vitesses de rotation.	-Complexité de commande. -Effet de résonance.

### 2.3.4.3 inducteurs vibratoires



**Figure (2.8).** Inducteur vibratoire.

Les inducteurs de vibrations sont des dispositifs utilisés pour générer des vibrations mécaniques. Il se compose généralement de bobines électromagnétiques et d'aimants permanents. Lorsque le courant passe à travers la bobine, un champ magnétique est créé qui attire ou repousse l'aimant, générant ainsi un mouvement vibratoire.

Cet inducteur vibratoire est en contact avec le fil de découpage, pour engendrer des vibrations sur le fil et éviter son accrochement (Figure 2.8).

### 2.3.5 Système de fixation

#### 2.3.5.1 Vis et écrous



**Figure (2.9).** Vis et écrous

Le système vis et écrou (boulon) est destinée à réaliser la fixation d'une ou de plusieurs pièces en gardant la structure simple et facile pour le montage et démontage, il est composé d'une tige filetée avec tête et un écrou avec le même type de filetage, il a aussi un rôle important au niveau de fixation des différents matériaux ensemble qui ne peut pas être obtenu par d'autre méthode telles que le soudage.

Nous avons utilisé divers types de vis et de vis-écrous (Figure 2.9) pour fixer les différentes parties de cette machine.

Pour récapituler les avantages et les inconvénients des vis-écrous, nous avons établi le tableau (2.7).

**Tableau (2.7).** Avantages et inconvénients des vis-écrous.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Montage et démontage simple et facile.</li> <li>-Connexion solide et permanente.</li> <li>-Résistance aux charges très élevées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de rupture.</li> <li>- Instabilité et la possibilité de desserrage en cas de la vibration.</li> </ul>

### 2.3.5.2 Accouplements



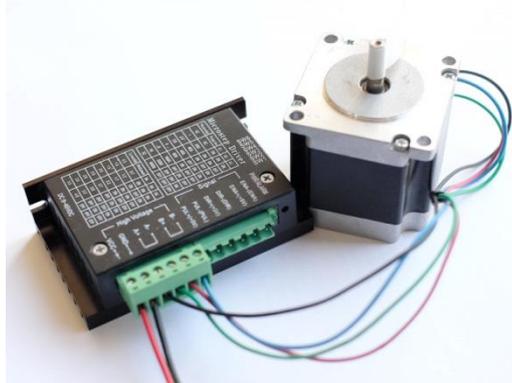
**Figure (2.10).** Accouplements flexibles.

On utilise des accouplements (Figure 2.10) pour accoupler en rotation les arbres d'entraînement et les vis trapézoïdales. Ces accouplements sont habituellement constitués de deux pièces rigides fixées aux arbres et d'une pièce légèrement adaptable qui compense les défauts d'alignement.

On trouve deux accouplements entre les moteurs pas à pas Nema 23 et les vis trapézoïdales

## 2.3.6 Système électroniques

### 2.3.6.1 Driver moteur pas à pas



**Figure (2.11)** Driver de moteur pas à pas

Les pilotes de moteur pas à pas (Figure 2.11) sont couramment utilisés dans les applications où la précision de mouvement est importante car ils nous permettent de contrôler l'ampérage, la direction et le micros-pas des moteurs pas à pas. Trois pilotes sont utilisés dans notre assemblage qui reliés la carte Arduino au moteur

### 2.3.6.2 Alimentation



**Figure (2.12).** Alimentation électrique.

Le choix de l'alimentation électrique (Figure 2.12) pour une machine d'électroérosion dépend de plusieurs facteurs comme la taille et la puissance, le matériau à usiner, la précision requise, la fréquence d'utilisation.

### 2.3.6.3 Capture de fin de course



**Figure (2.13).** Capture de fin de course.

Les captures de fin de course (Figure 2.13) sont utilisées pour détecter automatiquement la présence d'un objet ou pour surveiller et indiquer si les limites de déplacement de cet objet ont été dépassées. Leur utilisation initiale était de définir la limite ou le point final sur lequel un objet pouvait se déplacer avant d'être arrêté [9]. On a utilisé deux capture de fin de course sur les glissières des axes X, Y pour éviter la casse des composants

### 2.3.6.4. Bouton d'arrêt d'urgence



**Figure (2.14).** Bouton d'arrêt d'urgence.

Le bouton d'arrêt d'urgence (Figure 2.14) est un élément essentiel pour assurer la sécurité des opérateurs travaillant sur la machine ou à proximité, qu'il peut arrêter toute la machine immédiatement lorsque le bouton d'arrêt d'urgence est enfoncé. Cela permet à l'opérateur ou un intervenant d'arrêter la machine afin d'éviter tout accident [10]. Notre machine est dotée d'un bouton d'arrêt d'urgence pour le but de sécuriser l'utilisateur ainsi que la machine.

### 2.3.6.5. Carte Arduino



Figure (2.15). Carte Arduino.

La carte Arduino représentée sur la Figure (2.15) est une carte électronique de prototypage rapide sur laquelle on peut raccorder des capteurs (entrées) et des actionneurs (sorties). Elle est équipée d'un microcontrôleur programmable permettant de stocker et d'exécuter un programme informatique, elle est compatible avec un large éventail de capteurs, d'actionneurs et de composants électroniques, ce qui rend la machine très flexible et adaptable à une large gamme d'applications [11]. Pour chaque pièce à usiner un programme en langage C est nécessaire pour la réalisation de différentes pièces.

### 2.3.7. Système lubrifiant

#### 2.3.7.1. Pompe de lubrification



Figure (2.16). Pompe de lubrification.

Dans les machines d'électroérosions, la pompe de lubrification joue un rôle essentiel pour assurer le processus d'usinage lubrifié, le refroidissement du fil et la pièce à usiner, chasser la matière érodée de la zone de coupe et empêcher la pulvérisation des étincelles hors de la zone de travail. On peut utiliser un modèle d'une pompe de lave glass d'une voiture pour leur disponibilité, fournissent le débit de lubrifiant demandé et sont facile à utiliser.

## 2.4 Centre de gravité de la machine

Il est important de connaître la position du centre de gravité (Figure 2.17) de la machine pour assurer la stabilité et l'équilibre pendant son fonctionnement.

Pour une simplicité de calcul. Nous pouvons utiliser la fonction de calcul de masse nommée « Propriété des masses » du logiciel SolidWorks 2022.



Figure (2.17) Centre de gravité de la machine

## 2.5 Choix de matériaux

Nous avons fait le choix de plusieurs matériaux en prenant en considération leur utilisation, positionnement ainsi que leur résistance face aux charges appliquées. Parmi ces matériaux, le Trespa revêt une importance particulière puisqu'il est utilisé dans la majorité des ensembles.

Trespa ou HPL (Figure 2.18) est un matériau composite composé d'un thermdurcissable renforcé de papier, il est utilisé dans la construction des panneaux et instruments de laboratoire. Le matériau présente une surface dure spéciale, généralement de couleur blanche. Cette surface est résistante aux rayures et a un aspect professionnel. Le matériau de base ne se décompose pas et ne gonfle pas avec le temps. Il est solide, strié et résiste à la plupart des produits chimiques, ces caractéristique mécanique et physique sont suffisante et permet une isolation électrique. Ce choix est basé sur l'étanchéité, l'isolateur électrique, le poids léger et l'utilisation simple. Le tableau (2.8) regroupe les avantages et les inconvénients de Trespa.

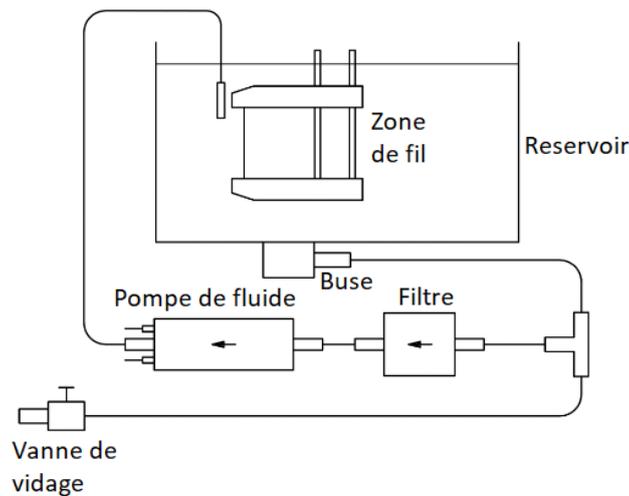


**Figure (2.18).** Plaque de trespa.

**Tableau (2.8).** Avantages et inconvénients de Trespa.

Avantages	Inconvénients
-Durabilité. -Résistance aux intempéries. -Installation facile. -Cout.	-Limitations de taille. -Conductivité thermique.

## 2.6 Circuit de fluide de lubrification



**Figure (2.19).** Le circuit de fluide dans la machine.

Le circuit de fluide (Figure 2.19) joue un rôle primordial dans le fonctionnement de cette machine. Voici les détails du circuit de fluide dans une électroérosion à fil :

- Réservoir diélectrique : La machine remplit le réservoir diélectrique avec un fluide diélectrique spécifique, ce fluide agit comme un milieu isolant entre le fil-électrode et la pièce. Il aide également à éliminer les débris créés lors de l'EDM.
- Pompe : Le circuit de fluide comprend une pompe pour faire circuler le fluide diélectrique du réservoir vers la zone de travail. La pompe maintient un débit

constant pour assurer une lubrification suffisante et un refroidissement efficace de la zone de traitement.

- Filtre : avant que le fluide ne soit acheminé vers la zone de travail, il passe par un système de filtration pour éliminer les particules et les impuretés susceptibles d'endommager la machine ou d'affecter la qualité du processus.
- Buses : les fluides diélectriques sont généralement pulvérisés dans la zone de traitement par des buses. Cela permet de refroidir la zone de décharge et d'éliminer les débris.
- Système de recyclage : Après avoir traversé la zone de travail, le fluide diélectrique est collecté et filtré à nouveau, et réintroduit dans le réservoir diélectrique. Cela permet une utilisation efficace du fluide et réduit les coûts de maintenance.

## 2.7 Le circuit de fil

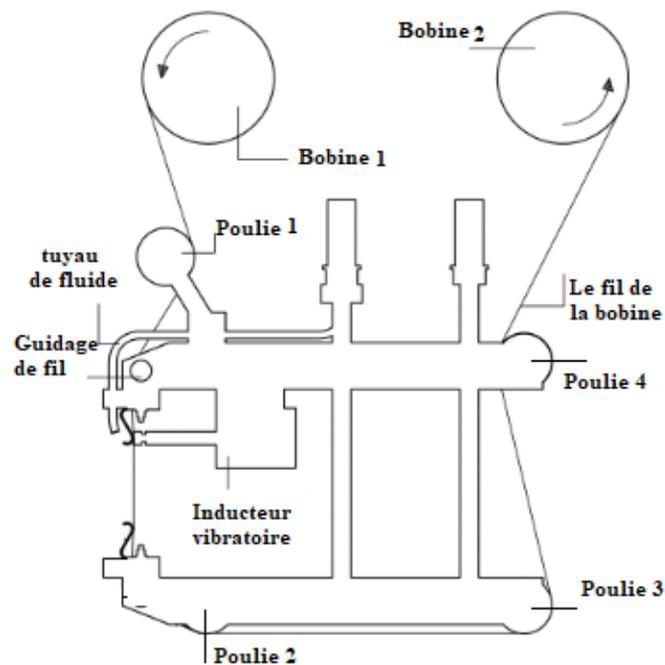


Figure (2.20). Le circuit de fil dans la machine.

Il est également connu sous le nom de fil d'usinage par décharge électrique, c'est un fil métallique conducteur de faible section transversale utilisé dans le processus d'usinage par décharge électrique. Ce processus utilise des décharges électriques pour éroder le matériau à usiner, ce qui donne des formes précises et une finition de surface lisse. Il est disponible dans des diamètres allant de 0,03 mm à 0,5 mm

Le fil se commence par la bobine 1 vers la bobine 2, en passant sur les poulies de guidage et la pièce à découper comme il est montré sur la figure (2.20)

## **2.8 Conclusion**

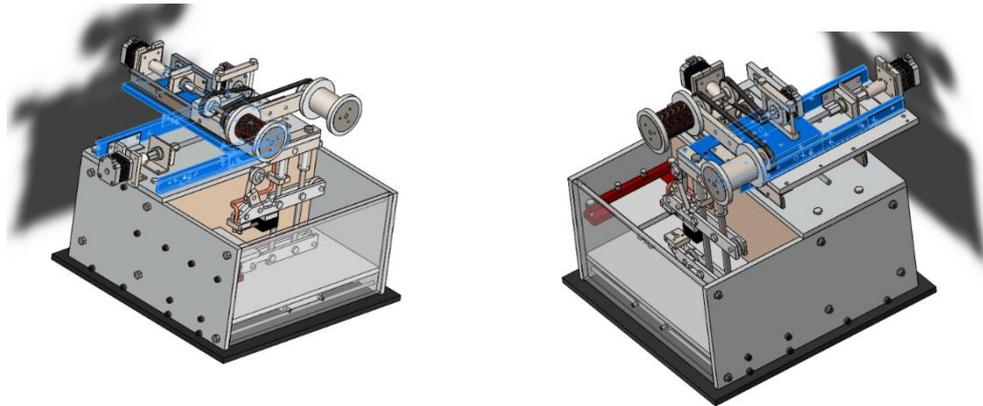
Les dimensionnements des pièces de cette machine fournissent des informations de base sur la conception et la fabrication de pièces adaptées aux exigences de ce type. En tenant compte des facteurs techniques, en sélectionnant les matériaux appropriés, en effectuant des calculs et des simulations et en respectant les normes et réglementations, il est possible d'obtenir des pièces solides, performantes et durables, qui contribuent à améliorer l'efficacité et la fiabilité de la machine, aussi pour économiser le maximum au niveau des pièces et en gardant la précision.

# ***CHAPITRE III***

## ***Etude et vérification***

### 3.1 Introduction

Le chapitre d'étude et calcul de cette machine à deux axes (Figure 3.1) est essentiel pour évaluer les efforts et contraintes subis par le matériau lors de l'usinage, et pour déterminer les paramètres de coupe optimaux. Ces connaissances et ces calculs garantissent la qualité, la durabilité et la fiabilité des pièces usinées par les machines WEDM.



**Figure (3.1)** Système de guidage de l'axe X et Y

Les poids des pièces assemblées sur les axes X et Y et de la machine sont indiqués dans le tableau (3.1)

**Tableau (3.1).** Configuration mécanique.

Les ensembles	Poids[g]
Axe-X	5740,67
Axes-Y	3780
Poids globale de la machine	18910,53

Ensemble axe X : toutes les pièces assemblées sur axe X. (voir l'annexe)

Ensemble axe Y : toutes les pièces qu'il transporte se déplacent sur axe Y. (voir l'annexe)

### 3.2 Dimensionnement des moteurs

#### 3.2.1 Le Couple

Le dimensionnement du moteur pas à pas commence tout d'abord par le calcul du couple et puissance requis pour assurer l'entraînement linéaire sur les axes X et Y.

Le couple nécessaire pour le mouvement d'un système vis/écrou est calculé par l'équation suivante [12] :

$$C = \frac{F.P}{2.\pi.\eta.1000} \quad (3.1)$$

- C = Le couple [N.m].
- F = La force axiale exercée sur l'écrou [N].
- P = Le pas effectif de la vis [mm].

- $\eta$  = Le rendement (il faut considérer le rendement avec le coefficient de frottement  $f= 0,23$ ).

### 3.2.1.1 Le rendement

Le rendement du couple vis/écrou dépend des facteurs : ( $\beta$ ) le coefficient de friction entre la vis en acier et l'écrou en acier, ( $P$ ) le pas de la vis trapézoïdale et ( $\alpha$ ) l'angle de l'hélice de la vis [12] :

$$\eta = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\alpha + \beta)} \quad (3.2)$$

- $\eta$  : Le rendement de couplage vis/écrou.
- $\alpha$  : L'angle de l'hélice.
- $\beta$  : L'angle du coefficient de friction.

La figure (3.2) montre la description de la vis trapézoïdale.

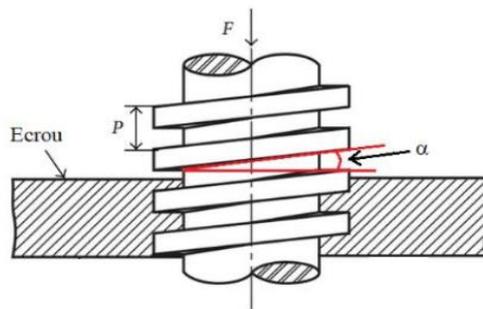


Figure (3.2) diagramme d'une vis trapézoïdale

Tableau (3. 2). Coefficients de sureté pour différents types de charges [12].

Coefficient de friction ( $f$ ) pour vis et écrou				
Matière de vis	Matière de l'écrou			
	Acier	Bronze	Laiton	Fonte
Acier, sec	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acier, lubrifié	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronze	0.08-0.12	0.04-0.06	/	0.06-0.09

La vis est constituée d'acier, tout comme l'écrou. Après calcul on trouve :

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{P}{\pi D} = \tan^{-1} \frac{4}{16\pi} = 4,549^\circ, \quad \beta = \tan^{-1} f = \tan^{-1} 0,25 = 14,036^\circ$$

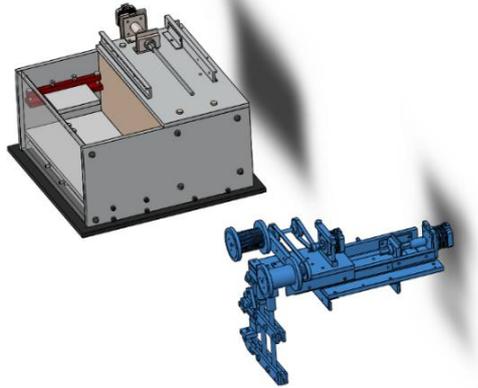
-  $f$  : Le coefficient de friction, pour notre cas, la vis et l'écrou sont en acier sans lubrification.

On remplace dans l'équation (3.2), on aura :

$$\eta = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\alpha + \beta)} = \frac{\tan 4,549}{\tan(4,549 + 14,036)} = 0,236$$

### 3.2.1.2 Couple Moteur $C_x$

La charge  $f_x$  exercée dans l'axe X est principalement axiale et inclut les poids des composants additionnels présents dans la figure 3.3. (Voir l'annexe).



**Figure (3.3)** Les pièces assemblées sur axe X.

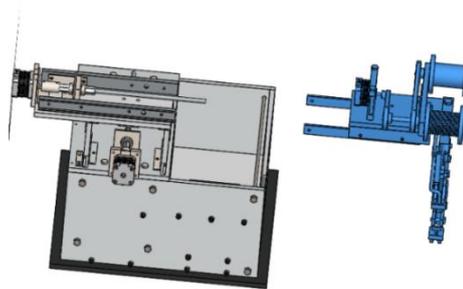
$$F_x = \sum m_i \times g = 56,315 \text{ N} \quad (3.3)$$

On remplace dans l'équation (3.1), on aura :

$$C_x = \frac{56,315 \times 4}{2 \times 3,14 \times 0,236 \times 1000} = 0,15 \text{ N.m}$$

### 3.2.1.3 Couple Moteur $C_y$

La charge  $f_y$  exercée dans l'axe Y est principalement axiale et inclut les poids des composants additionnels présents dans la figure (3.4) et aussi sur l'annexe.



**Figure (3.4)** les pièces assemblées sur axe Y

$$f_y = 3780 \times 9,81 = 37,0810 \text{ N}$$

On remplace dans l'équation (3.1)

$$C_y = \frac{37,0818 \times 4}{2 \times 3,14 \times 0,236 \times 1000} = 0,10 \text{ N.m}$$

### 3.2.2 La puissance

La puissance nécessaire pour déplacer un ensemble vis/écrou trapézoïdal est calculée par l'équation suivante [12] :

$$Pt = \frac{C.n}{9550} \quad (3.4)$$

#### 3.2.2.1 La puissance $P_x$

On remplace dans l'équation (3.4)

$$Pt_x = \frac{0.15 \times 1000}{9550} = 0.0157 \text{ KW} = 15,7 \text{ W}$$

#### 3.2.2.2 La puissance $P_y$

On remplace dans l'équation (3.4)

$$Pt_y = \frac{0,10 \times 1000}{9550} = 0.0104 \text{ KW} = 10,4 \text{ W}$$

Pour notre cas on a choisi deux moteurs pas à pas Nema 23 de couple 0,6 [N.m] sur les axes X et Y [13].

### 3.2.3 Calculs des courroies

Pour effectuer les calculs sur les courroies, on s'est référé au « Catalogue Technologies Industrielles Transmission des Courroies », pour commencer on doit d'abord avoir nos données initiales qui sont les suivantes [14] :

- P : La puissance moteur = 2,5 KW.
- $n_a$  : La vitesse de rotation du moteur = 12.5 Tr/min.
- $n_D$  : La vitesse de rotation de la poulie réceptrice = 5 Tr/min.
- D : Le diamètre de la poulie réceptrice = 40,3 mm
- d : le diamètre de la poulie motrice = 15,5 mm
- E' : L'entraxe souhaité = 88 mm

#### 3.2.3.1 Le rapport de transmission

Le rapport de transmission des courroies est une mesure qui indique la relation entre le diamètre de la poulie réceptrice et celle motrice [14].

$$R = \frac{n_d}{n_c} = \frac{D}{d} \quad (3.5)$$

$$R = \frac{40,3}{15,5} = 2,6$$

### 3.2.3.2 Calculer la vitesse linéaire V

La vitesse linéaire des courroies fait référence à la vitesse de la partie extérieure de la courroie qui se déplace de manière linéaire le long de la trajectoire de la courroie [14].

La vitesse linéaire de la courroie est calculée en utilisant la formule suivante :

$$v = \frac{n_D \times D}{19100} \quad (3.6)$$

$$v = \frac{5 \times 40,3}{19100} = 0.010 \text{ m/s}$$

### 3.2.3.3 La longueur théorique des courroies $L_{Th}$

La longueur théorique des courroies, également appelée longueur nominale, est la longueur prévue d'une courroie sans tension ni charge appliquée. Elle est utilisée pour sélectionner la courroie appropriée pour un système de transmission par courroie donné.

$L_{Th}$  longueur théorique des courroies trapézoïdales est donnée par [14] :

$$L_{Th} = 2E + 1,57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4E} \quad (3.7)$$

$$L_{Th} = 2 \times 88,03 + 1,57(40,3 + 15,5) + \frac{(40,3 - 15,5)^2}{4 \times 88,03} = 265,39 \text{ mm}$$

D'après ce calcul et selon le tableau (3.3) on prend  $L = 270 \text{ mm}$  type Z

**Tableau (3.3).** Longueurs primitives des courroies trapézoïdales [14]

3. Longueurs primitives ou de référence Lp (en mm des courroies trapézoïdales)					
(L* : longueur NF ISO 4184 – les autres longueurs varient sensiblement d'un fabricant à l'autre)					
<b>Z</b>	270, 295, 340, 380, 405*, 435, 465, 475*, 485, 505, 530*, 545, 570, 610, 625*, 635, 675, 700*, 710, 750, 780*, 790, 840, 895, 920*, 940, 1 000, 1 055, 1 080*, 1 095, 1 145, 1 205, 1 250, 1 330*, 1 420*, 1 540*...				
<b>A</b>	415, 490, 541, 585, 620, 630*, 670, 700*, 719, 770, 790*, 820, 871, 890*, 933, 983, 990*, 1 049, 1 100*, 1 153, 1 201, 1 250*, 1 303, 1 353, 1 405, 1 430*, 1 455, 1 508, 1 550*, 1 608, 1 640*, 1 709, 1 750*, 1 858, 1 913, 1 940*, 2 013, 2 050*, 2 133, 2 200*, 2 273, 2 300*, 2 393, 2 480*, 2 533, 2 700*, 2 833, 3 183...				
<b>B</b>	613, 655, 680, 729, 780, 830, 881, 930*, 980, 1 000*, 1 033, 1 083, 1 100*, 1 133, 1 185, 1 210*, 1 243, 1 318, 1 370*, 1 393, 1 465, 1 560*, 1 668, 1 760*, 1 872, 1 950*, 2 075, 2 180*, 2 283, 2 300*, 2 380, 2 480, 2 500*, 2 659, 2 700*, 2 870*, 3 200*, 3 393, 3 600*, 3 793, 4 060*, 4 430*, 4 820*, 5 043, 5 370*, 5 620, 6 070*, 6 585...				
<b>C</b>	920, 1 075, 1 152, 1 312, 1 462, 1 505*, 1 662, 1 760*, 1 840, 1 950*, 2 094, 2 195*, 2 348, 2 420*, 2 500, 2 715*, 2 907, 2 880*, 3 080*, 3 312, 3 520*, 3 720, 3 964, 4 060*, 4 177, 4 278, 4 600*, 5 015, 5 380*, 5 662, 6 100*, 6 362, 6 815*, 7 035, 7 600*, 8 038, 8 444, 9 100*, 10 062, 10 700*...				
<b>D</b>	2 576, 2 740*, 2 876, 3 100*, 3 226, 3 330*, 3 530, 3 730*, 4 080*, 4 386, 4 620*, 5 029, 5 400*, 5 676, 6 100*, 6 370, 6 840*, 7 126, 7 620*, 8 000, 8 405, 9 140*, 10 700*, 11 276, 12 200*, 13 700*, 15 200*...				
<b>E</b>	4 660*, 5 040*, 5 105, 5 420*, 5 765, 6 100*, 6 505, 6 850*, 7 265, 7 650*, 8 055, 8 410, 8 790, 9 150*, 10 035, 11 230, 12 230*, 13 750*, 15 280*, 16 800*...				
<b>Séries étroites</b>	<b>SPZ</b>	<b>SPA</b>	<b>SPB</b>	<b>SPC</b>	Lp (ISO 4184) : 650, 710, 800, 900, 1 000, 1 120, 1 250, 1 400, 1 600, 1 800, 2 000, 2 240, 2 500, 2 800, 3 150, 3 500, 4 000, 4 500, 5 000, 5 600, 6 300, 7 100, 8 000, 9 000, 10 000, 11 200, 12 500
	630 à 3 550	800 à 4 500	1 250 à 8 000	2 000 à 12 500	

On effectue maintenant le calcul de l'entraxe E avec la formule suivante :

$$E = \frac{L - 1,57 \times (D + d)}{2} - \frac{(D - d)^2}{4[L - 1,57 \times (D + d)]} \quad (3.8)$$

$$E = \frac{270 - 1,57 \times (40,3 + 15,5)}{2} - \frac{(40,3 - 15,5)^2}{4[270 - 1,57 \times (40,3 + 15,5)]} = 90.35 \text{ mm}$$

### 3.2.3.4 Calculer angle d'enroulement sur la petite poulie

L'angle d'enroulement sur la petite poulie est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$\theta = 180^\circ - 2 \sin\left(\frac{D-d}{2E'}\right) \quad (3.9)$$

$$\theta = 163,799^\circ$$

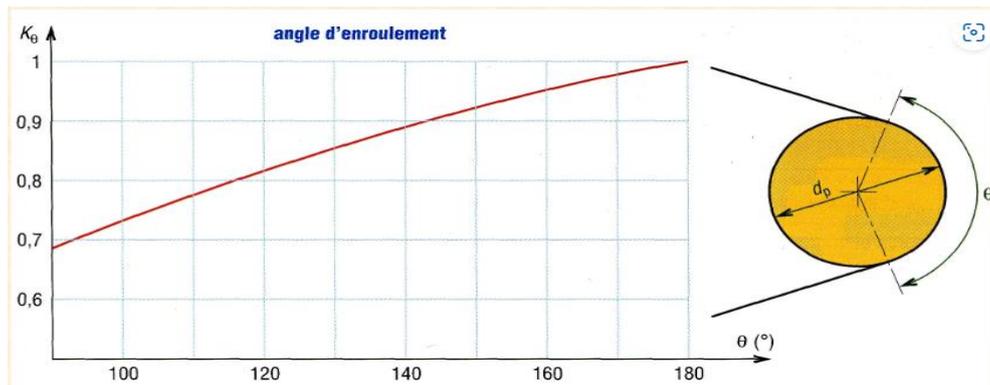


Figure (3.5) Angle d'enroulement [14]

Et dans le graph d'angle d'enroulement (Figure 3.5) on retient  $K_{\theta} = 0,95$

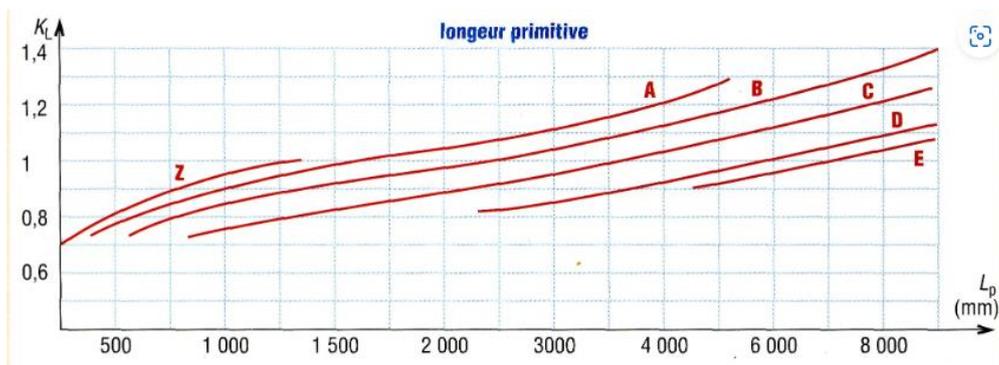


Figure (3.6). Longueur primitive [14]

Et dans le graph de la longueur primitive on retient (Figure 3.6) : Facteur de correction de longueur  $K_L = 0.75$ .

### 3.2.3.5 Le nombre de courroie $N_c$

Pour assurer une transmission parfaite et sécurisée, il est nécessaire de déterminer le nombre de courroies ( $N_c$ ) [14].

On utilise la formule suivante (3.10) :

$$N_c = \frac{P \times K_s}{P_0 \times \alpha \times C_L} \quad (3.10)$$

- $P_0$  : Puissance brute de transmission = 2.6 KW.
- $K_s$  : Coefficient de service. Déterminer à partir du tableau (3.4).  $K_s = 1,12$ .
- $K_{\theta}$  : Facteur d'arc = 0,95.
- $K_L$  : Facteur de correction de longueur = 0.75

$$N_c = \frac{2,5 \times 1,2}{0,75 \times 0,95 \times 2,6} = 1,619 = 2 \text{ courroie}$$

D'après les calculs effectués et le catalogue du constructeur on choisit deux courroies trapézoïdales.

**Tableau (3.4).** Coefficient de service [14]

1. Valeur du coefficient de service $K_s$				
	service léger 0 à 6 h/jour	service normal 6 à 16 h/jour	service dur 16 à 24 h/jour	service très dur en continu
transmission uniforme sans à-coups	1,0	1,2	1,4	1,6
transmission avec légers à-coups et chocs modérés	1,1	1,3	1,5	1,8
transmission avec à-coups et chocs élevés *	1,2	1,4	1,7	2,1

### 3.2.4 Calcule de résistance du fil et de la courroie

Prenons le cas d'un blocage ou coincement au niveau du dévidoir d'entraînement du fil, il est important de savoir où est ce que la rupture se produit, au niveau du fil ou la courroie. La loi suivante est utilisée :

$$R_e = \frac{F}{S} \quad (3.11)$$

- $R_e$  : Limite élastique [MPa]
- $F$  : La force [N]
- $S$  : La section [ $mm^2$ ]

#### Calcul de la section du fil :

Le fil (Figure 3.7) soit en cuivre, sa limite élastique est égale à 40 MPa.



**Figure (3.7).** Le fil

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} = 0,1963 \text{ mm}^2$$

#### Calcul de la force maximum supporté par le fil :

La force maximale que le fil peut supporter est calculée à l'aide de l'équation suivante.

$$F = R_e \times S = 7,852 \text{ N}$$

#### Calcul de la section de la courroie :

La courroie (Figure 3.8) soit en caoutchouc, sa limite élastique est égale à 10 MPa



**Figure (3.8)** Courroie trapézoïdale

$$S = b \times h = 20 \text{ mm}^2$$

**Calcul de la force maximum supporté par la courroie :**

La force maximale que la courroie peut supporter est calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$F = R_e \times S = 200 \text{ N}$$

D'après les calculs, le fil se rompre le premier  $7.852 \text{ N} < 200 \text{ N}$ .

**Solution pour détecter la rupture du fil :** La machine doit être équipée d'un capteur de sécurité pour contrôler la rupture du fil.

Dans ce cas différentes solution sont proposées à l'aide de :

**Capteurs de tension :** La machine doit être équipée de capteurs qui contrôlent constamment la tension du fil de coupe. Lorsque la rupture du fil se produit, la tension diminue brusquement, ce qui permet au système de donner l'ordre d'arrêter le processus de coupe.

**Capteurs de courant :** La machine peut être équipée de capteurs de courant qui mesurent le courant électrique circulant à travers le fil de découpe. Si le courant chute subitement, cela peut indiquer une rupture du fil, ceci entraîne l'arrêt automatique de la machine.

### 3.3 Calcul RDM

La résistance des matériaux constitue une étape essentielle dans la conception et la fabrication de tout système mécanique.

Dans cette machine on va étudier la résistance des pièces essentielles sur les axes X et Y pour évaluer leurs capacités à supporter les charges et les contraintes imposées, en prennent en compte divers facteurs tels que les dimensions et les matériaux, les forces appliquées, les déformations subies, nous allons examiner en détail ces pièces et évaluer leur résistance aux contraintes pour garantir sa fiabilité et sa durabilité dans un environnement de travail.

### 3.3.1 Etude de flexion sur le système de guidage de l'axe X (Les glissières) par la méthode RDM

À cette étape, nous souhaitons effectuer une vérification de la résistance contre la flexion des glissières (figure 3.9) face à la charge appliquée

Pour effectuer ces calculs, il est nécessaire de simplifier le problème (Figure 3.10).

Dans cette position la flèche est maximale

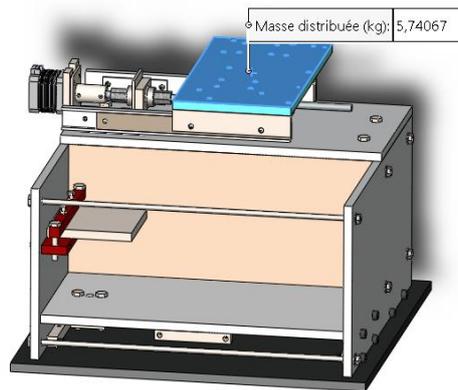


Figure (3.9) La charge appliquée sur l'axe X

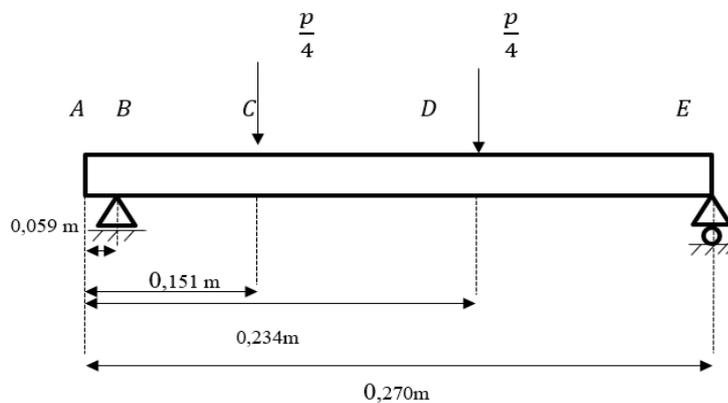


Figure (3.10). Les charges appliquées sur l'axe X après simplification.

$$m_g = 5740,67 \text{ g} = 5,74067 \text{ kg}$$

$$P = m \cdot g \tag{3.12}$$

$$F_1 = F_2 = \frac{p}{4} = 14,0789 \text{ N} = 0,0140 \text{ KN}$$

### 3.3.1.1 Calcul des réactions aux appuis

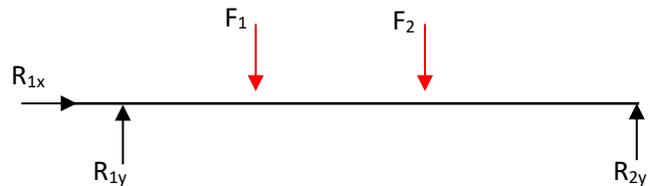
Pour ce calcul, nous devons déterminer les réactions aux appuis sur R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub> par les deux équations (3.13) et (3.15).

A l'équilibre statique :

$$\sum F^{\rightarrow} = 0 \quad (3.13)$$

$$Oy \rightarrow R_{1y} - F_1 - F_2 + R_{2y} = 0$$

$$R_{1y} + R_{2y} = 2F_1 \quad (3.14)$$



$$Ox \rightarrow R_{1x} = 0$$

$$\text{Et aussi :} \quad \sum M^{\rightarrow} = 0 \quad (3.15)$$

$$\sum M/B = (F_1 \times (0,151 - 0,059)) + (F_2 \times (0,234 - 0,059)) - (R_{2y} \times (0,27 - 0,059)) = 0$$

$$R_{2y} = 17,815 \text{ N}$$

On remplace dans l'équation (3.14)

$$R_{1y} = 10,342 \text{ N}$$

### 3.3.1.2 Calcul de l'effort tranchant T(x) et du moment fléchissant M(x)

On détermine les valeurs de l'effort tranchant (Figure 3.11) et du moment fléchissant (Figure 3.12) par la méthode des sections. Quatre zones sont considérées :

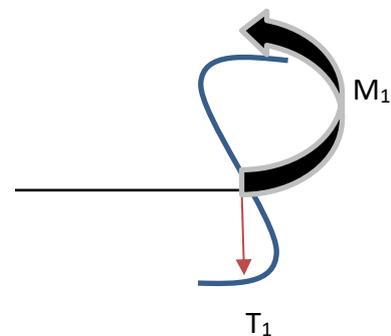
Zone 1:  $0 \leq x < 0,059$

$$\sum F^{\rightarrow} = 0 \Rightarrow T_1 = 0 \text{ N}$$

$$\sum M^{\rightarrow} = 0 \Rightarrow M_1 = 0$$

$$\text{Pour } x = 0 \quad M_1 = 0 \text{ N.m}$$

$$\text{Pour } x = 0,059 \text{ m} \quad M_1 = 0 \text{ N.m}$$



Zone 2:  $0,059 \leq x < 0,151$

$$\sum F^{\rightarrow} = 0 \Rightarrow R_{1y} + T_2 = 0 \Rightarrow T_2 = 10,342 \text{ N}$$

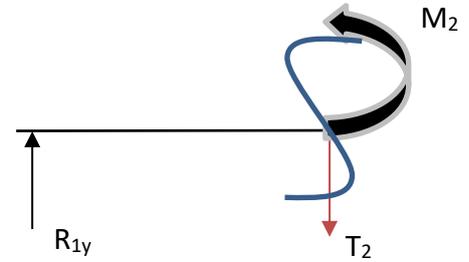
$$\sum M^{\rightarrow} = 0 \Rightarrow -R_{1y}(x - 0,059) + M_2 = 0 \Rightarrow M_2 = R_{1y}(x - 0,059)$$

Pour  $x = 0,059$

$$M_2 = 0 \text{ N.m}$$

Pour  $x = 0,151 \text{ m}$

$$M_2 = 0,951 \text{ N.m}$$



Zone 3:  $0,151 \leq x < 0,234$

$$\sum F^{\rightarrow} = 0 \Rightarrow R_{1y} - F_1 - T_3 = 0 \Rightarrow T_3 = -3,7369 \text{ N}$$

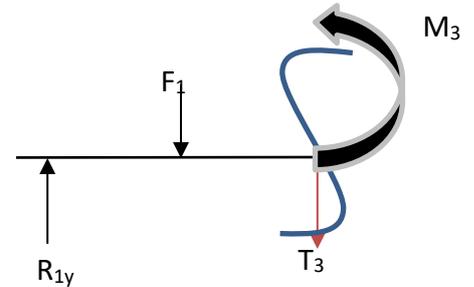
$$\sum M^{\rightarrow} = 0 \Rightarrow -R_{1y}(x - 0,059) + F_1(x - 0,151) + M_3 = 0 \Rightarrow M_3 = -3,7369 x + 1,515$$

Pour  $x = 0,151 \text{ m}$

$$M_3 = 0,951 \text{ N.m}$$

Pour  $x = 0,234 \text{ m}$

$$M_3 = 0,640 \text{ N.m}$$



$$l = x + x' \quad x' = l - x$$

Zone 4:  $0,036 > x \geq 0$

$$\sum F^{\rightarrow} = 0 \Rightarrow R_{2y} + T_4 = 0 \Rightarrow T_4 = -17,815 \text{ N}$$

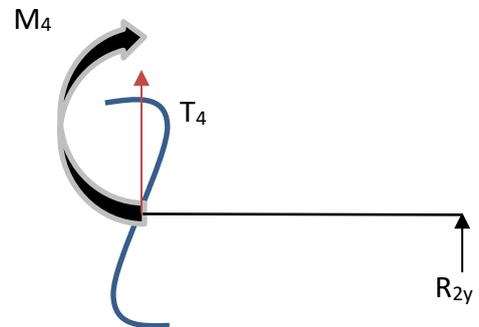
$$\sum M^{\rightarrow} = 0 \Rightarrow R_{2y} x' - M_4 = 0 \Rightarrow M_4 = -17,815 x'$$

Pour  $x' = 0,036 \text{ m}$

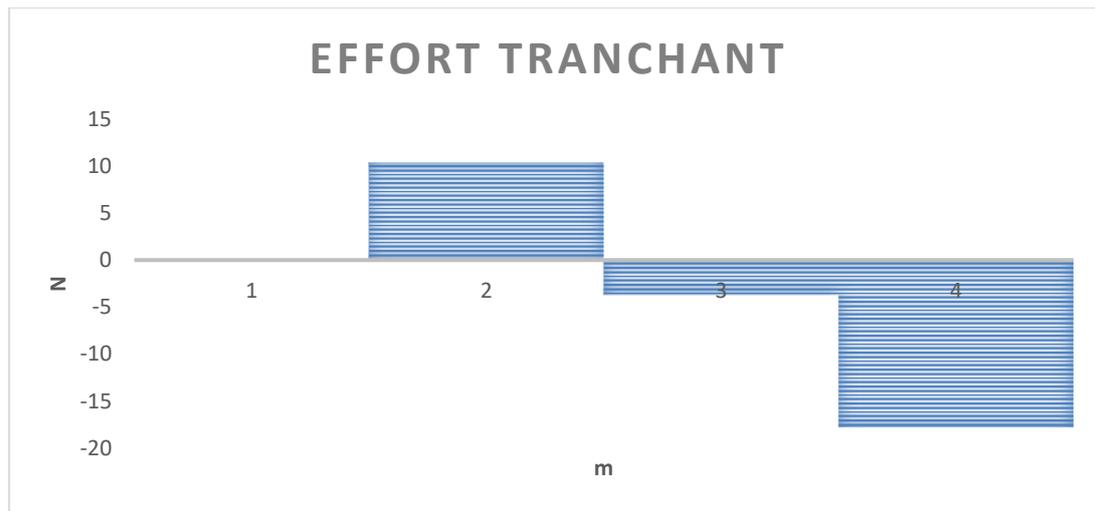
$$M_4 = 0,640 \text{ N.m}$$

Pour  $x' = 0 \text{ m}$

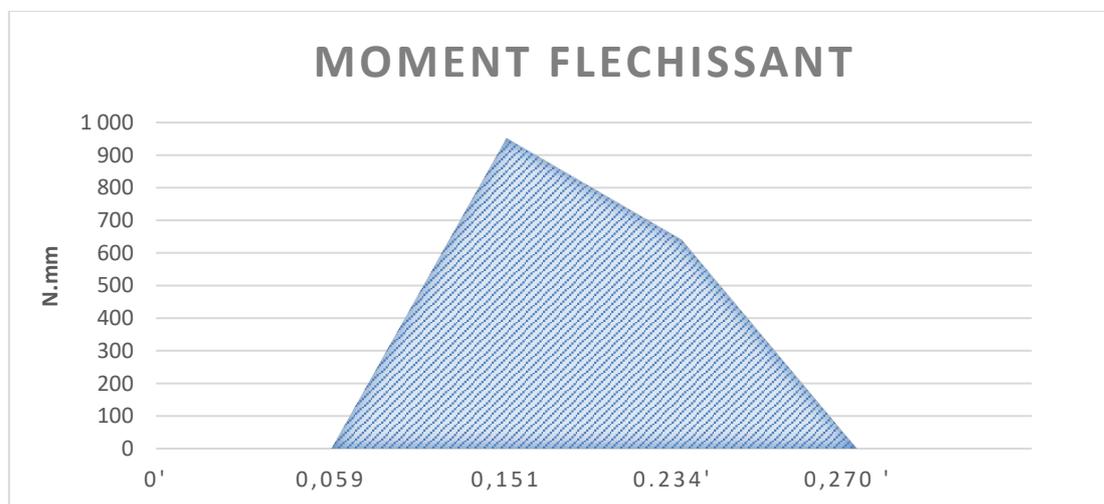
$$M_4 = 0 \text{ N.m}$$



Les diagrammes de l'effort tranchant et du moment fléchissant sont représentés sur les figures (3.11) et (3.12), respectivement.



**Figure (3.11)** Diagramme des efforts tranchants



**Figure (3.12)** Diagramme du moment fléchissant

### 3.3.2 Définition de logiciel RDM6

RDM6 est un logiciel de calcul de structures par la méthode des éléments finis. Il est principalement utilisé pour l'analyse structurelle et la conception en génie civil et en mécanique, il a été développé par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) en France. Il peut résoudre des problèmes tels que la résistance des matériaux, la stabilité et la taille des structures. Les fonctions fournies par le logiciel comprennent la modélisation structurelle, la définition des matériaux, l'application de la charge, le calcul de la déformation, la contrainte et la contrainte limites, et le dimensionnement des éléments structurels tels que les poutres, les colonnes et les dalles [15].

### 3.3.2.1 Validation par logiciel RDM6

Les résultats de l'effort tranchant et du moment fléchissant sont validés on utilise le logiciel RDM6.



**Figure (3.13)** Les charges applique sur l'axe X par logiciel RDM6

| Flexion |

Charge nodale : Noeud = 3  $F_y = -14.08 \text{ N}$

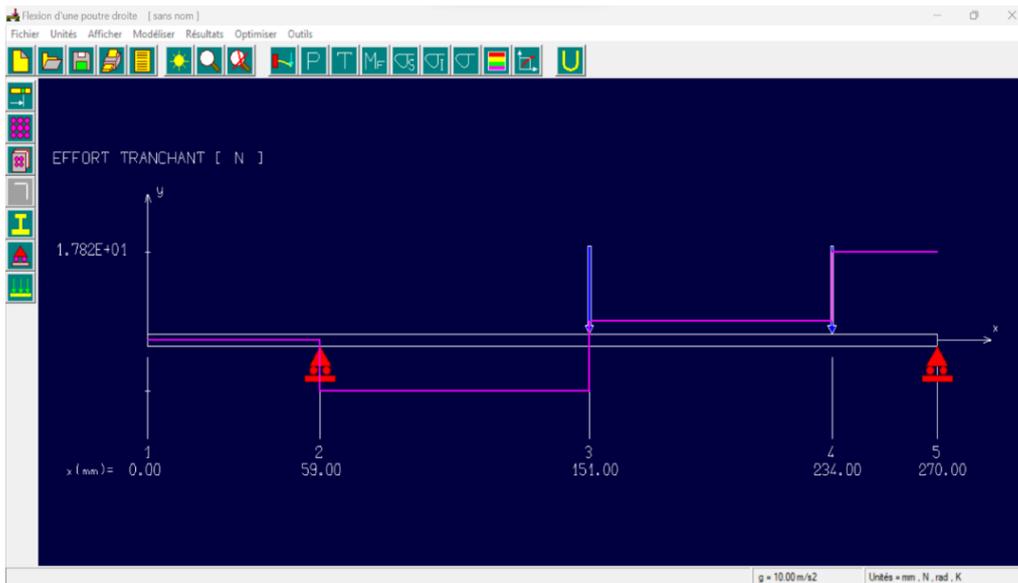
Charge nodale : Noeud = 4  $F_y = -14.08 \text{ N}$

Après la simulation avec RDM6 en résumé les résultats dans le tableau (3.5).

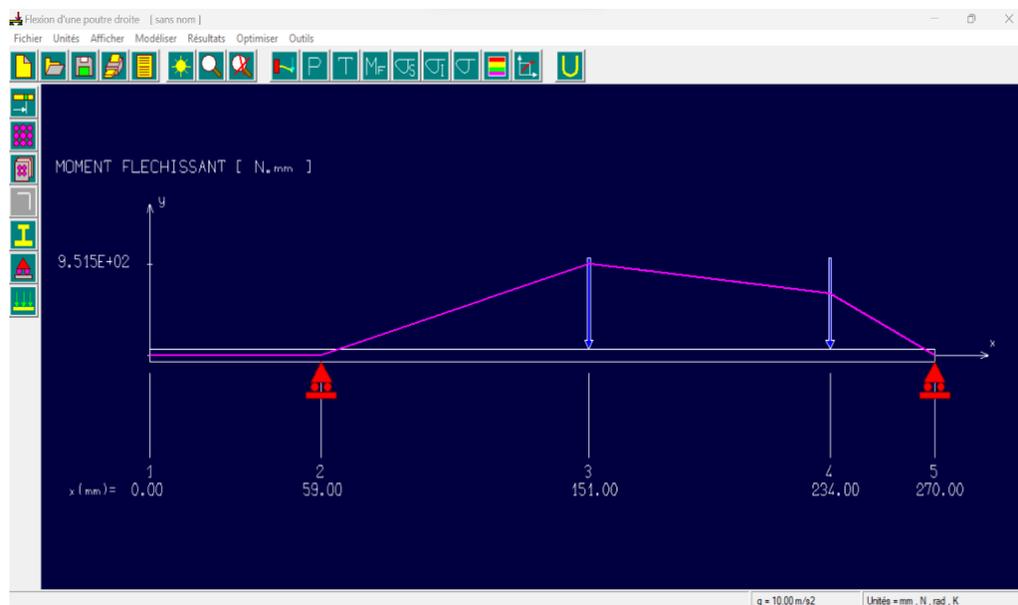
**Tableau (3.5)** résultat du l'effort tranchant et du moment fléchissant par logiciel RDM6.

/	Mfz = Moment fléchissant	Ty = Effort tranchant
Noeud	Mfz	Ty
1	-0.00	-0.00
2	-0.00	-0.00
2	-0.00	-10.34
3	951.49	-10.34
3	951.49	3.74
4	641.36	3.74
4	641.36	17.82
5	-0.00	17.82

Moment fléchissant maximal = 951.49 N.mm à 151.000 mm



**Figure (3.14).** Diagramme des efforts tranchants par logiciel RDM 6.



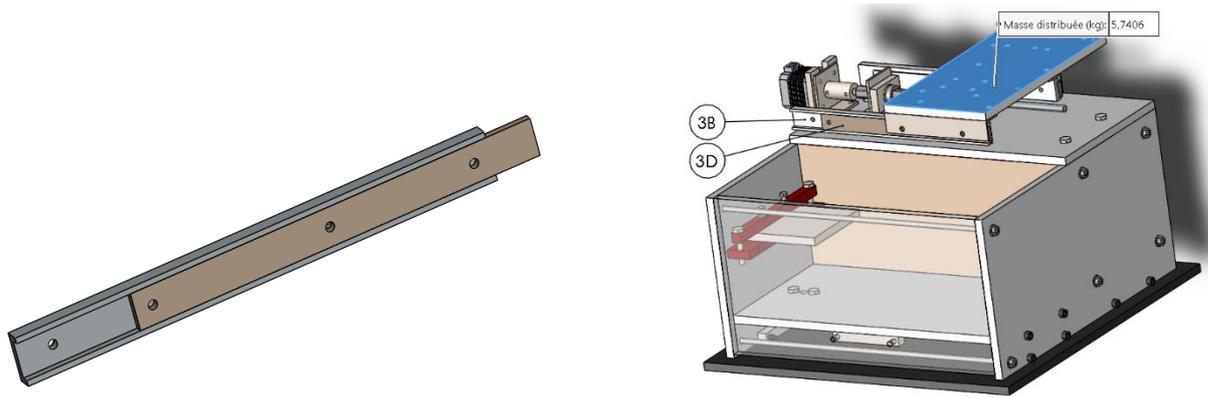
**Figure (3.15).** Diagramme du moment fléchissant par logiciel RDM 6.

### 3.3.3 Calculs des contraintes en flexion

Pour calculer les contraintes de flexion nous suivons ces étapes :

#### 3.3.3.1 Les composantes du système de guidage suivant l'axe X (Les glissières)

A partir du moment fléchissant maximal, on doit calculer les contraintes appliquées sur les glissières sur l'axe X (Figure 3.16) pour vérifier leur résistance.



**Figure (3.16).** Composante de système de guidage (Les glissières)

Pour des raisons de sécurité, la contrainte normale due à la flexion doit rester inférieure à la résistance pratique à l'extension  $R_{pe}$  (Tableau (3.6) [16].

$$R_{pe} = \frac{R_e}{S} \quad (3.16)$$

$R_{pe}$  : Limite pratique élastique [MPa]

$R_e$  : Limite élastique [MPa]

$S$  : coefficient de sécurité

Concernant notre matériau, nous employons les valeurs ci-dessous :

$R_e = 282$  MPa

$S = 1,5$

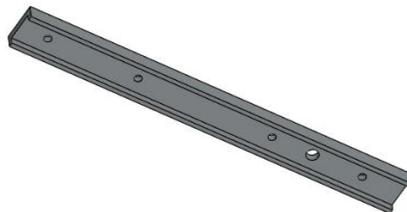
$R_{pe} = 188$  MPa

**Tableau (3.6).** Propriétés des pièces de guidage. (Les glissières)

Nom de pièce	Matériaux	Limite pratique élastique $R_{pe}$ [MPa]
3B	Acier aisi 1035	188
3D	Acier aisi 1035	188

### 3.3.3.2 Calculs des contraintes de flexion pour la pièce 3B

On doit vérifier la résistance de cette pièce (Figure 3.17), en suivant les étapes :



**Figure (3.17).** Pièce de glissière (3B).

$$b_g = 10 \text{ mm} \quad h_g = 26 \text{ mm}$$

Et pour le vide :  $b_v = 5 \text{ mm} \quad h_v = 20 \text{ mm}$

$$M_{f_{max}} = 0,951 \text{ N.m} = 951 \text{ N.mm}$$

La contrainte maximale appliquée sur la pièce 3B est [16]:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{fz}}{\frac{I_{Gz}}{y}} \quad (3.17)$$

- $\sigma_{max}$  = Contrainte maximale de flexion [MPa]
- $M_{fz}$  = Moment fléchissant maximal [N.mm]
- $\frac{I_{Gz}}{y}$  = Module de flexion de la section droite [mm<sup>3</sup>]

$$I_{Gz} = \frac{bh^3}{12} \quad (3.18)$$

$$y = \frac{26}{2} = 13$$

$$I_{Gz} = \frac{b_g h_g^3}{12} - \frac{b_v h_v^3}{12} = \frac{10 \times 26^3}{12} - \frac{5 \times 20^3}{12} = 11313,333 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{951}{11313,333} 13 = 1,0927 \text{ MPa}$$

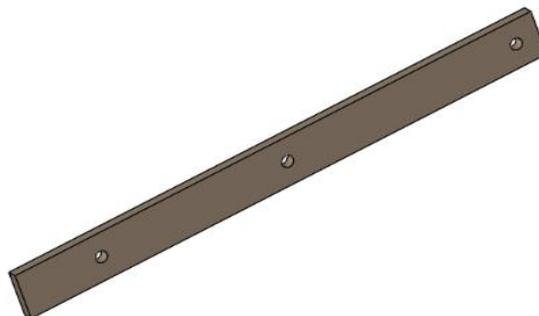
$$\sigma_{max} < R_{pe} \quad (3.19)$$

$$1,0927 \text{ MPa} < 188 \text{ MPa}$$

La condition est vérifiée donc la pièce 3B résiste.

### 3.3.3.3 Calculs des contraintes en flexion pour la pièce 3D

De la même façon que la pièce 3B, on aura pour la pièce 3D (Figure 3.18) :



**Figure (3.18).** Pièce de glissière 3D.

$$b = 5 \text{ mm} \qquad h = 20 \text{ mm.}$$

$$y = \frac{20}{2} = 10$$

$$I_{Gz} = \frac{bh^3}{12} = \frac{5 \times 20^3}{12} = 3333,333 \text{ mm}^4$$

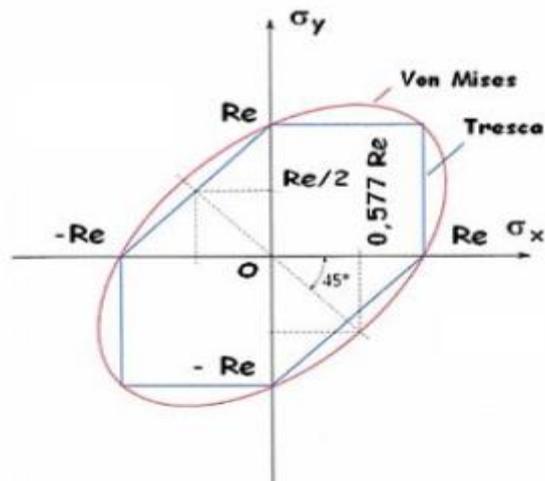
$$\sigma_{max} = \frac{951}{3333,333} 10 = 2,853 \text{ MPA}$$

$$\sigma_{max} < Rpe$$

$$2,853 < 188$$

La condition est vérifiée donc la pièce 3D résiste

### 3.4 Critère de Von Mises [17]



**Figure (3.19).** Critere de Von Mises .

Un matériau, lorsqu'il est déformé par une charge extérieure, tend à stocker de l'énergie interne dans son volume (analogie avec les ressorts).

**Enoncé :** On définit une contrainte équivalente  $\sigma_{eq}$  en tout point d'un matériau devant être inférieur à la limite élastique en traction (ou à la compression le cas échéant).

La contrainte équivalente est donnée par la relation (3.20), sa valeur et comparée à la valeur de la limite élastique pour différencier le domaine élastique du domaine plastique :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2)} \leq Re \quad (3.20)$$

Le critère de Von Mises (Figure 3.19) est le plus souvent utilisé dans les calculs théoriques et dans les logiciels de calculs par éléments finis, en raison de la simplicité de son expression.

### 3.5 Simulation SolidWorks

Dans cette simulation on doit vérifier la résistance du système de guidage de l'axe Y (figure 3.20).

#### 3.5.1 Informations sur le modèle de translation (système de guidage de l'axe Y)

Les propriétés volumiques de chaque pièce dans le système de guidage de l'axe se trouvent si dessous :

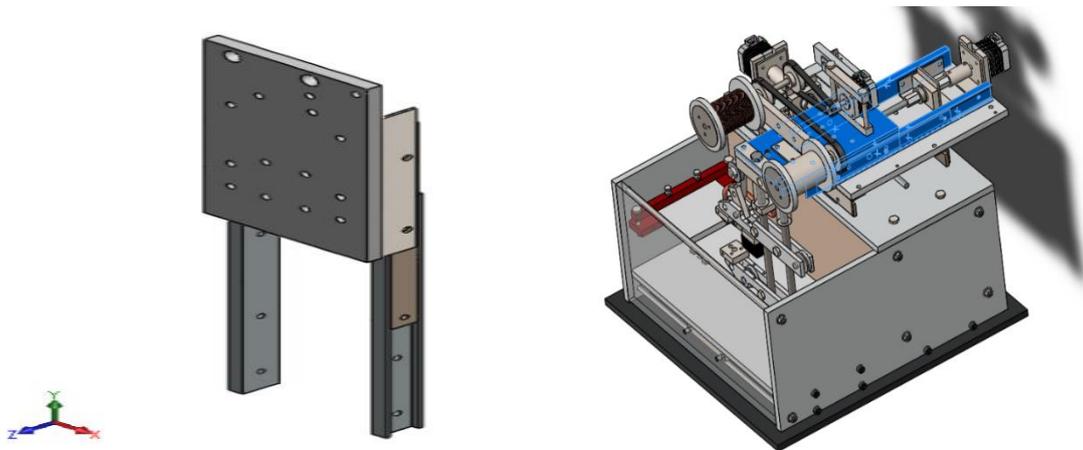
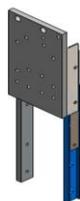
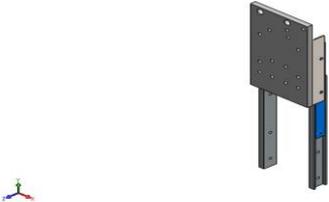


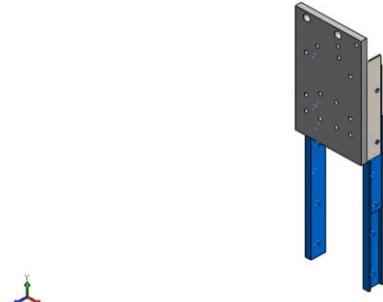
Figure (3.20). Système de guidage de l'axe Y

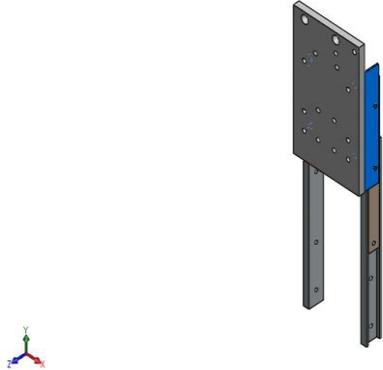
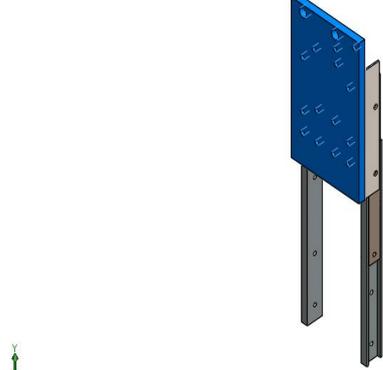
Corps Volumiques		
Nom du document et référence	Traité comme	Propriétés volumétriques
	Corps volumique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masse: 0,334064 kg.</li> <li>• Volume: 4,2556e-05 m<sup>3</sup>.</li> <li>• Masse volumique: 7 850 kg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Poids: 3,27383 N.</li> </ul>

	Corps volumique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masse:0,178238 kg.</li> <li>• Volume:2,27055e-05 m<sup>3</sup>.</li> <li>• Masse volumique:7 850 kg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Poids:1,74673 N</li> </ul>
	Corps volumique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masse:0,0599299 kg.</li> <li>• Volume:1,51338e-05 m<sup>3</sup>.</li> <li>• Masse volumique:3 960 kg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Poids:0,587313 N.</li> </ul>
	Corps volumique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masse:0,304803 kg.</li> <li>• Volume:0,00022578 m<sup>3</sup>.</li> <li>• Masse volumique:1 350 kg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Poids:2.98706 N.</li> </ul>

### 3.5.2 Propriétés mécanique des matériaux

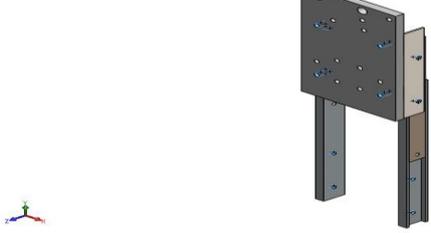
Pour ajouter un nouveau matériau dans SolidWorks, vous devez sélectionner la pièce souhaitée, puis cliquer avec le bouton droit de la souris. Ensuite, choisissez l'option "Matériaux" dans le menu contextuel et accédez à l'éditeur de matériaux pour effectuer les modifications souhaitées. Comme illustré dans le tableau ci-dessous :

Reference du modèle :	Propriétés :
	<p>Nom: <b>AISI 1035 Acier (SS)</b></p> <p>Type de modèle: <b>Linéaire élastique isotropique</b></p> <p>Critère de ruine par défaut: <b>Inconnu</b></p> <p>Limite d'élasticité: <b>282MPa</b></p> <p>Limite de traction: <b>585MPa</b></p> <p>Module d'élasticité: <b>205000</b></p> <p>Coefficient de Poisson: <b>0,29</b></p> <p>Masse volumique: <b>7 850 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Module de cisaillement: <b>80000MPa</b></p> <p>Coefficient de dilatation: <b>1,1e-05 /Kelvin</b></p>

	<p>Nom: <b>Alumiume</b>  Type de modèle: <b>Linéaire élastique isotropique</b>  Critère de ruine par défaut: <b>Inconnu</b>  :  Limite de traction: <b>300 MPa</b>  Limite de compression: <b>3000 MPa</b>  Module d'élasticité: <b>370000 MPa</b>  Coefficient de Poisson: <b>0,22</b>  Masse volumique: <b>3 960 kg/m<sup>3</sup></b>  Module de cisaillement: <b>150000 MPa</b>  Coefficient de dilatation thermique: <b>7,4e-06 /Kelvin</b></p>
	<p>Nom: <b>Trespa</b>  Type de modèle: <b>Linéaire élastique isotropique</b>  Critère de ruine par défaut: <b>Inconnu</b>  Limite d'élasticité: <b>50 MPa</b>  Limite de traction: <b>70 MPa</b>  Limite de compression: <b>100 MPa</b>  Module d'élasticité: <b>900 MPa</b>  Coefficient de Poisson: <b>0,25</b>  Masse volumique: <b>1 350 kg/m<sup>3</sup></b>  Module de cisaillement: <b>500 MPa</b>  Coefficient de dilatation thermique: <b>30 /Kelvin</b></p>

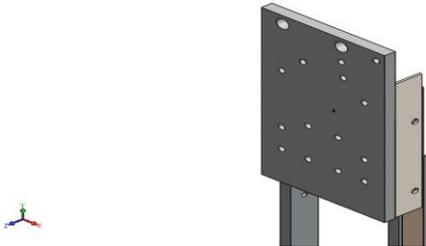
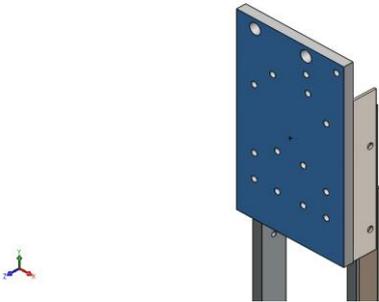
### 3.5.3 Action extérieure

Les points de fixation de l'ensemble de guidage seront les flèches bleues dans l'image si dessous.

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
Fixe-1		Entités : 18 faces  Type : Géométrie fixe.

### 3.5.4 Forces résultantes

Les charges externes appliquées à chaque pièce sont définies dans le tableau suivant :

Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-0.00119348	0.000857962	51.2197	51.2197
Moment de réaction (N.m)	0	0	0	0
Nom du chargement	Image du chargement		Détails du chargement	
Gravité1			<b>Référence:</b> Face< 1 > <b>Valeurs:</b> 0, 0, -9.81 <b>Unités:</b> m/s <sup>2</sup>	
Masse distribuée-1			<b>Entités:</b> 1 face(s) <b>Type:</b> Déplacement (transfert direct) <b>Système de coordonnées :</b> Coordonnées cartésiennes globales. <b>Coordonnées de référence :</b> 0, 0, 0 (mm). <b>Masse à distance :</b> 3.78 kg.	

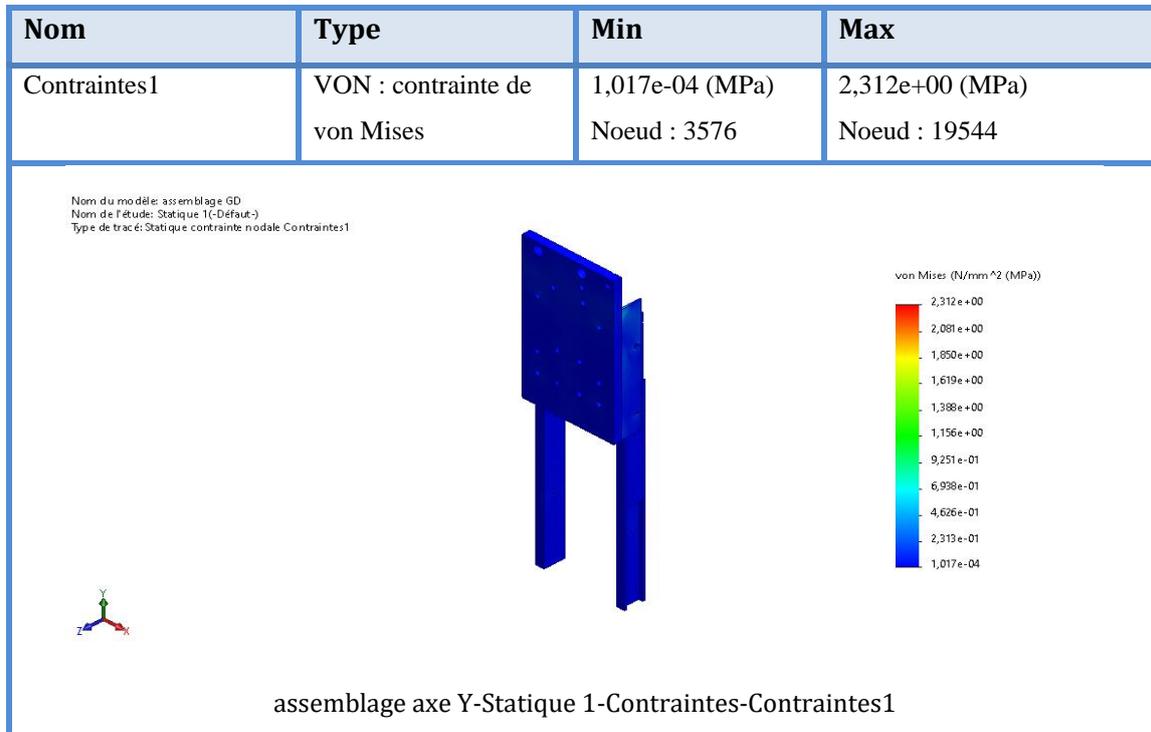
### 3.5.5 Information sur le maillage

Lors du processus de maillage, nous avons utilisé l'outil standard pour réaliser le maillage du modèle, ce qui a abouti aux tableaux suivants.

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé :	Maillage raccordé basé sur la courbure
Points de Jacobien pour un maillage de qualité élevée	16 Points
Taille d'élément maximum	15,7999 mm

Taille d'élément minimum	1,91342 mm
Qualité de maillage	Haute
Remailler les pièces en échec indépendamment	Désactivé(e)
Nombre total de noeuds	40730
Nombre total d'éléments	21964
Aspect ratio maximum	16.649
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	92.4
Pourcentage d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0,0546
Pourcentage d'éléments distordus	0
Durée de création du maillage (hh ; mm;ss) :	00:00:17

### 3.5.6 Résultats de l'étude



Après la comparaison entre la contrainte de Von Mises maximale 2,312 N/mm<sup>2</sup> (MPa) et la résistance élastique de chaque matériau de cette ensemble de guidage la condition est vérifiée :

$$\sigma_{eq} < Re$$

Donc on peut dire que le guidage résiste au poids appliqués.

### **3.6 Conclusion**

Dans ce chapitre un calcul de résistance a été présenté, le calcul est basé sur la RDM. Une analyse de la contrainte par élément finis sur Solid Works basé sur le critère de Van-Mises et un calcul de la puissance de différents moteurs est considérée.

Le calcul a pour but de vérifier la résistance des différentes pièces mécanique contre le chargement sur lequel elles sont soumises. Les dimensions des pièces ainsi que les propriétés mécaniques de leurs matériaux et pris en considération.

On a constaté que les pièces étudiées résistent bien aux effets du chargement sur lequel elles sont soumises.

# ***CHAPITRE IV***

## ***Conception par SolidWorks***

## 4.1 Introduction

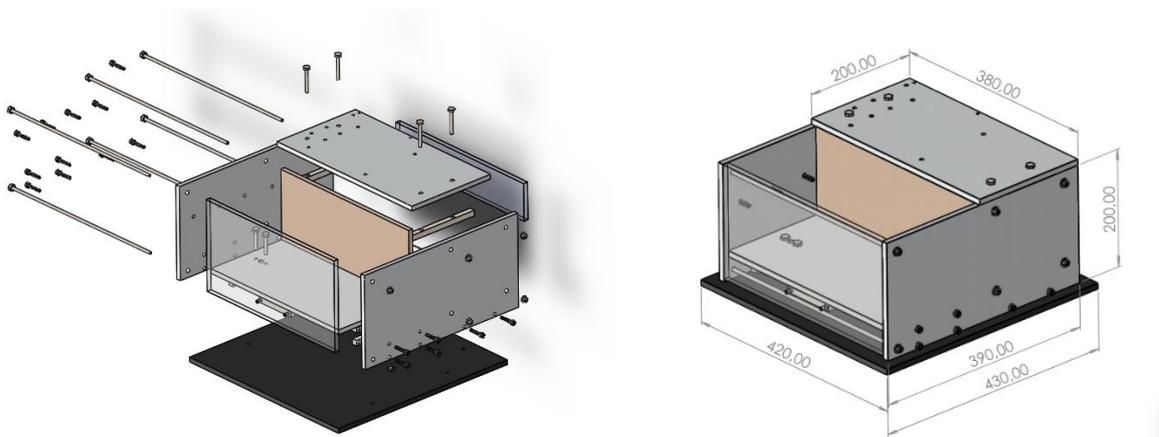
La conception de la machine (Electrical Discharge Machining) à l'aide de SolidWorks est importante. SolidWorks est un logiciel de CAO (conception assistée par ordinateur) permettant de modéliser des pièces et des assemblages en 3D. Concevoir une machine EDM implique la conception d'un ensemble de composants tels que le réservoir d'eau, des bobines, générateurs d'impulsions, la table, des axes de mouvement, câblages électriques, il faut également connaître les propriétés des différents composants et matériaux utilisés dans la construction de la machine.

## 4.2 Définition de logiciel SolidWorks [18]

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur CAO, appartenant à la société Dassault Systèmes. Il utilise le principe de conception paramétrique et génère trois types de fichiers qui sont liés : la pièce, l'assemblage, et la mise en plan. Ainsi toute modification sur un de ces trois fichiers sera répercutée sur les deux autres.

## 4.3 Composants réalisés

### 4.3.1 Châssis

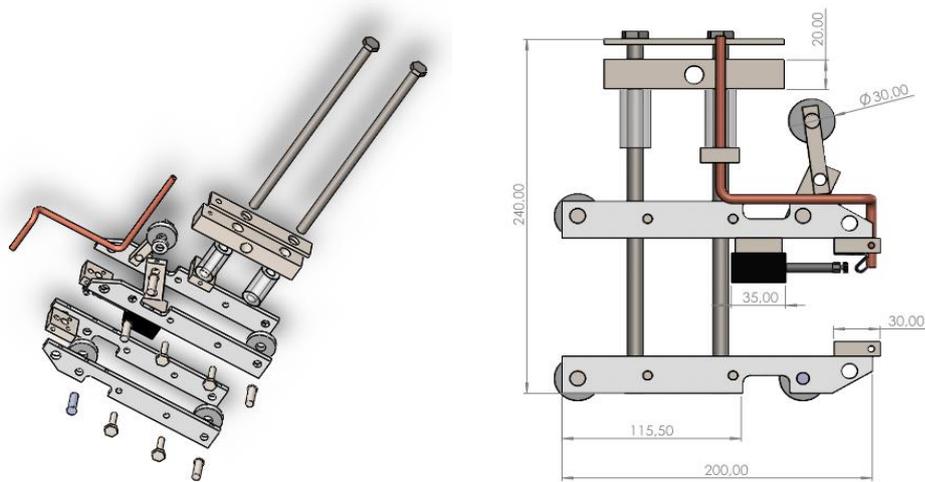


**Figure (4.1).** Le châssis de la machine.

Le châssis constitue une structure de support solide et rigide pour la machine, pour minimiser les vibrations et augmenter la qualité de l'usinage. Deuxièmement, le châssis sert à protéger les composants internes de la machine contre les dommages physiques et les contaminants externes qui pourraient affecter la précision et la fiabilité de la machine.

On a choisi des différents matériaux pour assurer l'étanchéité, diminuer le poids total et augmenter la résistance. Ainsi, nous avons utilisé le matériau Trespa (Figure 4.1) aux dimensions de 420mm x 430mm pour le bas du châssis, tandis que les côtés (droite et gauche) étaient de taille 390mm x 200mm. Les ensembles d'axes ont été montés sur une surface de 380mm x 200mm, et le chemin de travail avait des dimensions de 190mm x 180mm, et pour l'assemblage on a utilisé des différents vis et vis-écrous.

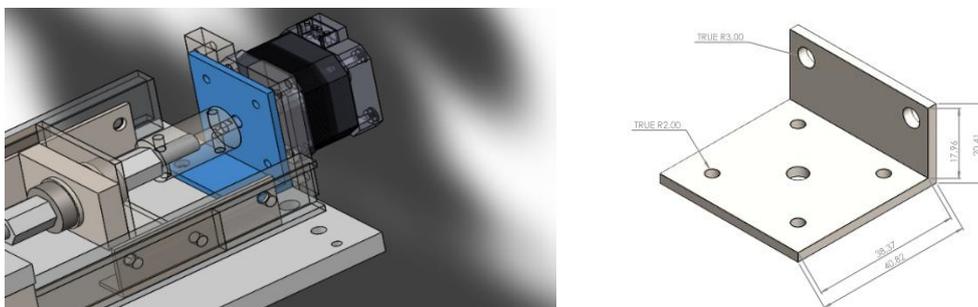
### 4.3.2 Porte outil



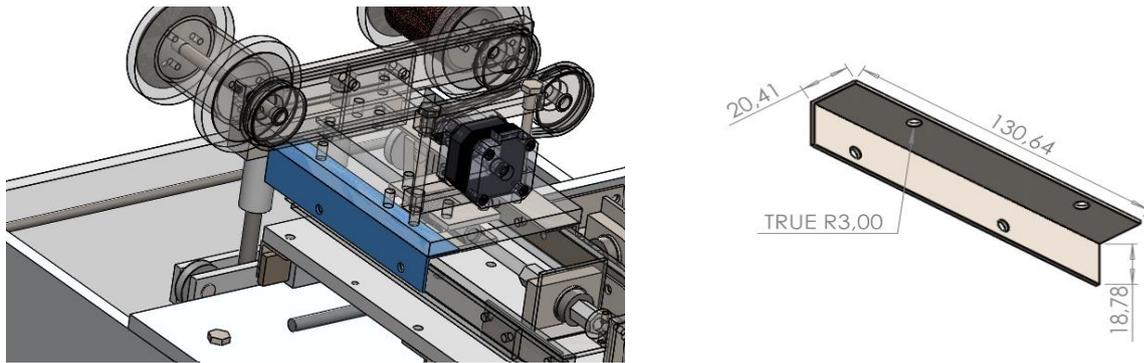
**Figure (4.2)** Porte outil.

L'ensemble porte-outil d'électroérosion (Figure 4.2) est conçu pour assurer la sécurité et la stabilité de l'électrode (outil de coupe) pendant le procédé d'usinage. Il doit aussi permettre de positionner précisément l'électrode par rapport à la pièce à usiner. Le porte-outil (porte-fil de découpe) a des dimensions de 200mm x 240mm et est équipé de poulies d'un rayon de 30mm.

### 4.3.3 Plaque de fixation



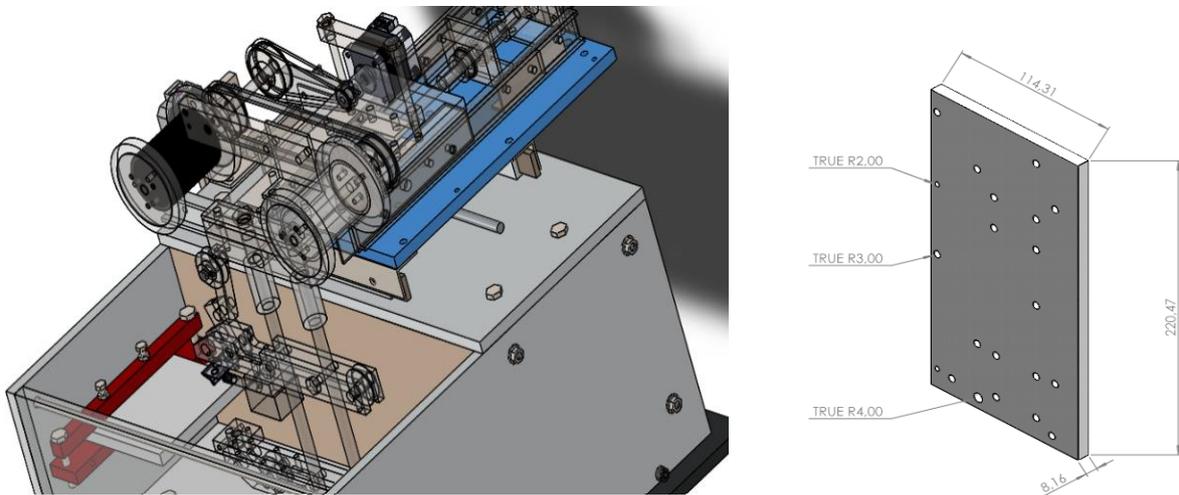
**Figure (4.3).** Plaques de fixation 1.



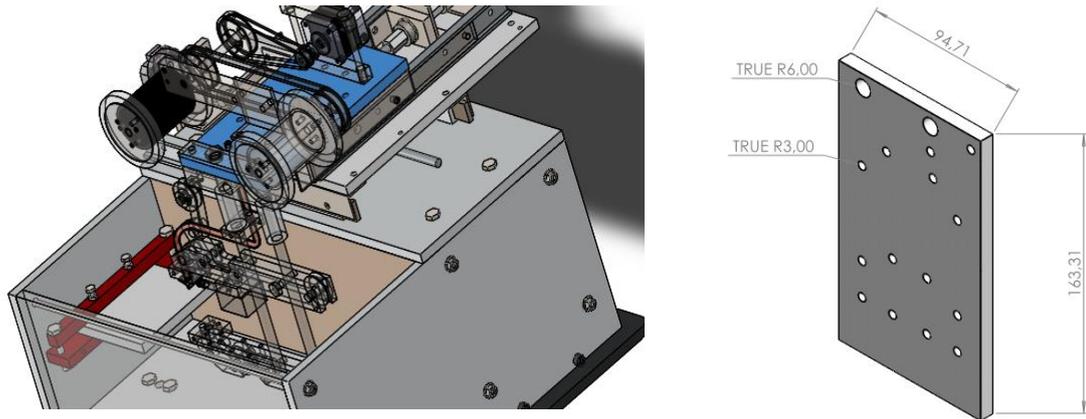
**Figure (4.4).** Plaque de fixation 2.

Les plaques de fixation sont souvent utilisées sur la machine pour fusionner la plaque de porte outil avec les glissières ou pour un assemblage entre deux ensembles en utilisant les vis-écrou ou vis avec autre partie taraudé. L'objectif de ces plaques est de garantir un mouvement stable, simple et démontable. La première plaque de fixation (Figure 4.3) mesure 40,82mm x 20,41mm avec une épaisseur de 2,45mm. Quant à la deuxième plaque de fixation (Figure 4.4), elle a des dimensions de 130,64mm x 20,41mm, avec une épaisseur équivalente de 2,45mm.

#### 4.3.4 Les plaques de support de l'axe X et Y



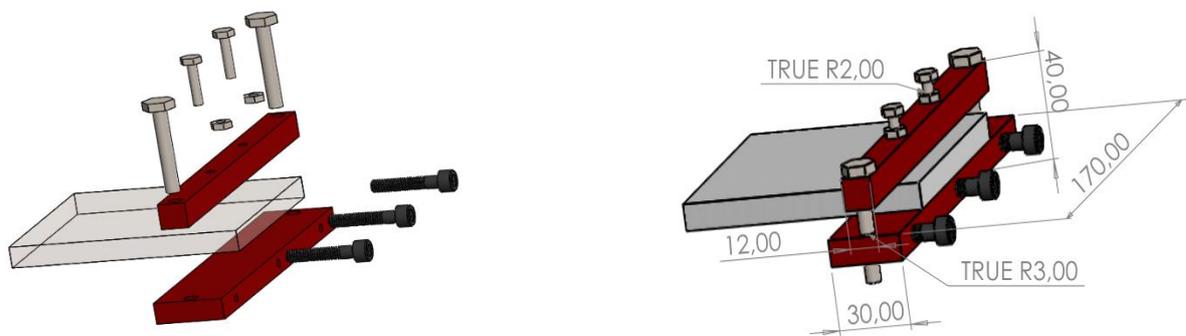
**Figure (4.5).** La plaque de support de l'axe X.



**Figure (4.6).** La plaque de support de l'axe Y.

Les plaques des supports des axes X, Y de la machine sont des composants essentiels qui porte le guidage pendant le processus d'usinage. Ils sont fabriqués à partir d'une plaque de Trespa qu'elle résistée aux forces générées et aussi comme un isolateur électrique. La plaque d'axe X (Figure 4.5) mesure 220,47mm x 114,31mm, tandis que la plaque d'axe Y (Figure 4.6) a des dimensions de 163,31mm x 94,71mm. Dans les deux plaques existe plusieurs trous pour la fixation des ensembles.

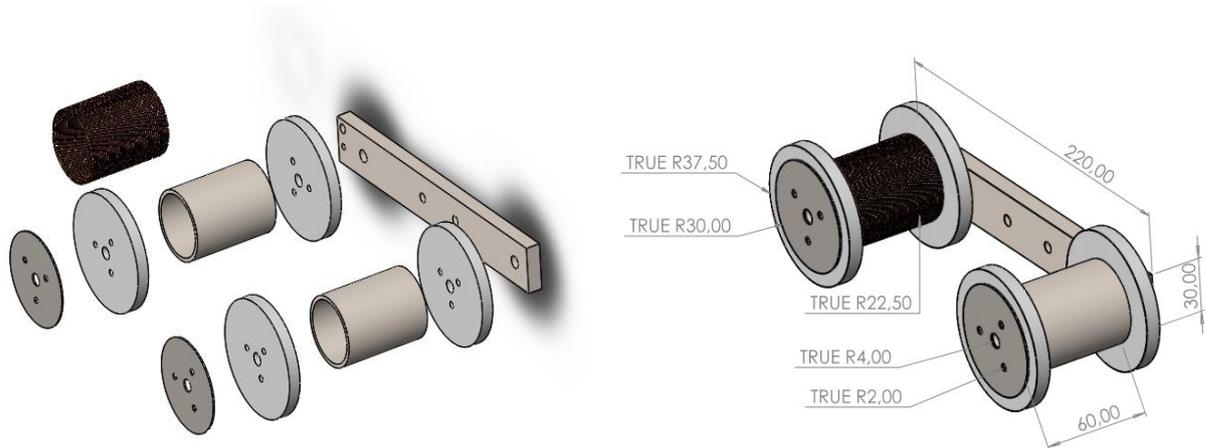
#### 4.3.5 Porte pièce



**Figure (4.7)** Porte pièce.

La première chose qu'on est besoin sur la plaque est d'être conducteur électrique, ensuite on le fixer bien dans la porte pièce (Figure 4.7) pour commencer l'usinage avec une très grand précision pour un résultat de pièce finis. Nous avons utilisé deux plaques pour la fixation des pièces. La plaque supérieure à des dimensions de 12mm x 170mm, tandis que la plaque inférieure mesure 30mm x 170mm.

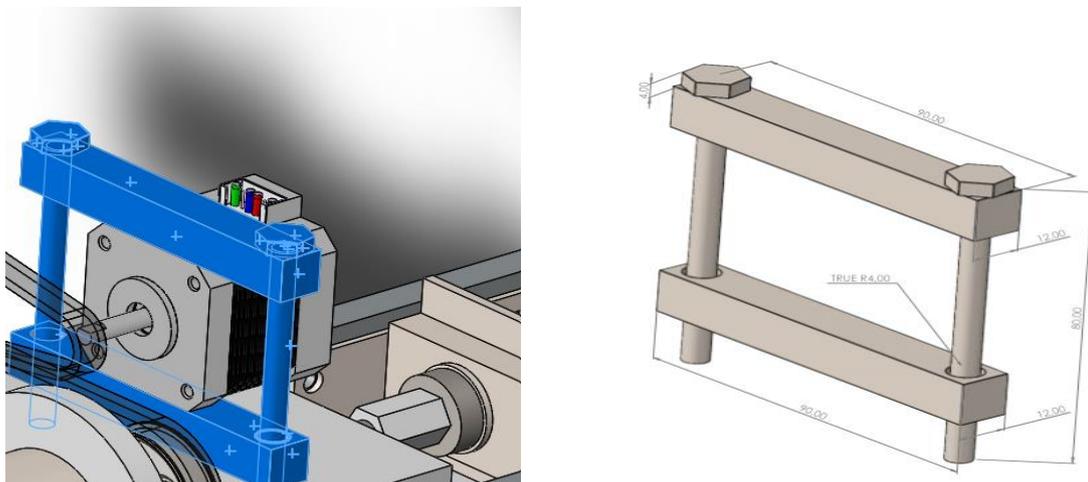
### 4.3.6 Dévidoirs



**Figure (4.8)** Dévidoirs.

Cette partie contient deux bobines (Figure 4.8) qui marchent en parallèle. Le fil de découpage est enroulé sur ces bobines, en effet elles sont utilisées en tant que conducteur électrique en continu chargé d'assurer le passage du courant vers la pièce, le sens de rotation sera inversé quand la bobine initialement vide soit pleine. La bobine a des dimensions de 60 mm x 37,5 mm avec une profondeur de 7,5 mm. La distance entre les deux bobines est de 220 mm.

### 4.3.7 Support du moteur pas à pas



**Figure (4.9).** Support du moteur pas à pas.

Le support du moteur pas à pas (Figure 4.9) sert à positionner, aligner et fixer le moteur.

Pour une fixation solide du moteur, nous avons utilisé une plaque supérieure et une plaque inférieure, toutes deux mesurant 90mm x 12mm. Ces plaques sont fixées à l'aide de vis positionnées sur les côtés.

#### **4.4 Conclusion**

La conception d'une machine d'électroérosion par fil avec SolidWorks est une tâche complexe qui nécessite une connaissance approfondie des machines et des compétences en modélisation 3D. Cependant, en utilisant les capacités avancées de SolidWorks, des conceptions de machines EDM précises et fonctionnelles peuvent être créées.

# *Conclusion générale*

Ce mémoire propose un projet de conception d'une machine d'électroérosion de découpe par fil. Dans le premier chapitre, un état de l'art est présenté, retraçant l'évolution de cette technique jusqu'à nos jours. Les versions industrielles et commerciales de la machine, qu'il s'agisse de la variante par enfoncement ou du découpage par fil, y sont également exposées. Ces informations ont servi de base pour développer la conception de notre machine.

Le deuxième chapitre se concentre sur le choix de différentes pièces de la machine. Le chapitre III présente le calcul de résistance des pièces soumises aux sollicitations auxquelles elles sont exposées. Ce calcul repose sur la RDM et une analyse des contraintes avec le critère de Von Mises (simulation). Le module d'analyse des contraintes de Solid Works a été utilisé sur des modèles réduits et simplifiés des pièces dimensionnées. Les puissances des moteurs utilisés dans la machine ont été vérifiées par rapport à la puissance calculée en fonction des vitesses caractéristiques de la machine et de la charge supportée par les parties mobiles. Ces calculs de vérification ont permis de valider les dimensions des pièces pour qu'elles résistent en service.

Le chapitre suivant se concentre sur la conception de la machine étudiée dans ce travail. Les dessins des différentes pièces, les sous-assemblages et l'assemblage complet ont été réalisés à l'aide du logiciel de conception 3D Solid Works. Ce logiciel nous a permis de vérifier les dimensions des pièces, la faisabilité du montage et du démontage, ainsi que de détecter d'éventuelles interférences entre les pièces et de les corriger. De plus, il a facilité les modifications rapides des côtes et des dimensions des pièces, ainsi que la correction des erreurs de conception.

La bibliothèque des matériaux et des pièces standards intégrée au logiciel a été utilisée de manière efficace pour évaluer la masse totale de la machine, ainsi que celle des pièces et des ensembles. Cette fonctionnalité est particulièrement importante pour le calcul de la résistance et de la puissance des moteurs. Les modules d'analyse des contraintes et d'étude des mouvements ont permis de dimensionner et d'étudier les différentes parties motrices de la machine.

Bien que la partie mécanique ait été présentée et dimensionnée de manière approfondie dans ce travail, les autres aspects de la machine, tels que la partie électrique et électronique,

l'alimentation et la commande des moteurs pas à pas, ainsi que le circuit de lubrification, ont été brièvement abordés. Ces aspects feront l'objet de projets futurs.

Dans cette perspective, il est proposé de réaliser, de mettre en marche et de mettre à jour cette machine dans sa partie conception pour accroître son efficacité.

# Références

- [1] : A. Peng « EDM Par Enfonçage vs EDM Par Fil, Quelle Est La Différence ? » (8 juillet 2021).<https://www.dekmake.com/fr/%C3%A9lectro%C3%A9rosion-par-enfon%C3%A7age-vs-%C3%A9lectro%C3%A9rosion-par-fil-quelle-est-la-diff%C3%A9rence/>. July 8, 2021
- [2]: C.P.S. Prakash, A Study on the Machining Characteristic in Wire EDM Process (Novembre 2008).
- [3]: E.C. Jameson, Electrical Discharge Machining. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers. (2001)
- [4] : Qu'est-ce que l'électroérosion à fil, SES Avantages et ses limites ? Material Welding. (2022).  
<https://www.materialwelding.com/quest-ce-que-lelectroerosion-a-fil-ses-vantages-et-ses-limites/>
- [5] : Séquence 3 Sciences de l'Ingénieur Système poulies-courroie (27 Mai 2023).  
[http://pedagogie.aclimoges.fr/sti\\_si/accueil/FichesConnaissances/Sequence3SSi/co/S3B22ssociation\\_modele\\_composant\\_12.html](http://pedagogie.aclimoges.fr/sti_si/accueil/FichesConnaissances/Sequence3SSi/co/S3B22ssociation_modele_composant_12.html)
- [6] : L. Berardinis, Machine Design : Belt and chain drives USA (01 Février, 2005)  
<https://wheretheroadforks.com/chain-vs-belt-drive-bike-pros-and-cons/>
- [7]: Heason technology Ltd, Technical Blog: Ball screws vs Lead Screws USA, (15 Aout 2019).  
<https://www.heason.com/news-media/technical-blog-archive/ball-screws-vs-lead-screws>
- [8]: C. Fiore, MPS electronics: Stepper motors basics: Types, Uses and working principles. (2021)  
<https://www.monolithicpower.com/en/stepper-motors-basics-types-uses>
- [9]: Andrew Waugh, Canada, Automation Direct: What is a limit switch? (24 Mai 2018)  
<https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/limit-switches/>
- [10]: D&T education: Emergency Stop buttons.
- [11] : Fonction traitement de l'information : Carte de prototypage rapide 'Arduino uno'.  
[http://www.collegegujan.fr/sites/technopc/img/2016\\_2017/4eme/sequence1/activite14/4emeactivite14/fonction\\_traitement\\_de\\_linformation\\_\\_carte\\_de\\_prototypage\\_rapide\\_arduino\\_uno.html](http://www.collegegujan.fr/sites/technopc/img/2016_2017/4eme/sequence1/activite14/4emeactivite14/fonction_traitement_de_linformation__carte_de_prototypage_rapide_arduino_uno.html) .

[12] : Catalogue VT 012, Coretec France.

[http://www.coretecfrance.com/media/catalogs\\_screws/Catalogue\\_VT\\_012\\_mail.pdf](http://www.coretecfrance.com/media/catalogs_screws/Catalogue_VT_012_mail.pdf)

[13] Mécanique - transmission de puissance, La market place B2B de l'industrie.

<https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/moteur-nema-23-153700.html>

[14] : transmissions par poulies et courroies.

[http://www.zpag.net/Tecnologies\\_Industrielles/transmission\\_courroies.htm](http://www.zpag.net/Tecnologies_Industrielles/transmission_courroies.htm)

[15] : A. Moussa, RDM 6, Cours BTP. (2019).

<https://btpcours.com/rdm6/#:~:text=des%20%C3%A9l%C3%A9ments%20finis,Pr%C3%A9sentation%20de%20RDM%206,droites%20sollicit%C3%A9es%20en%20flexion%20simple.>

[16] : A.U, cours RDM flexion simple, (2012). <https://www.technologuepro.com/resistance-des-materiaux-2/chapitre-6-flexion-simple.pdf>

[17] : Rocdacier, Critère de Limite élastique, Rankine, Tresca, von Mises, Mohr et exercice, Forum soudage et chaudronnerie (2021).

<https://www.rocdacier.com/forum/threads/crit%C3%A8re-de-limite-%C3%A9lastique-rankine-tresca-von-mises-mohr-et-exercice.1058/>

[18] : Carmel Solidworks : Logiciel de modélisation 3D Par Conception Paramétrique, Sculpteo.(2019).

<https://www.sculpteo.com/fr/glossaire/solidworks-definition-fr/>

# *Annexes*

La construction de l'installation mécanique implique la fabrication de pièces et l'assemblage d'unité. La configuration mécanique totale est composée de 7 ensembles différents, à savoir :

- Ensemble A (bobine de fil)
- Ensemble B (axe X)
- Ensemble C (vis trapézoïdale)
- Ensemble D (axes-Y)
- Ensemble E (châssis métallique)
- Ensemble F (réservoir, circuit de fluide)
- Ensemble G (Support de bobine)

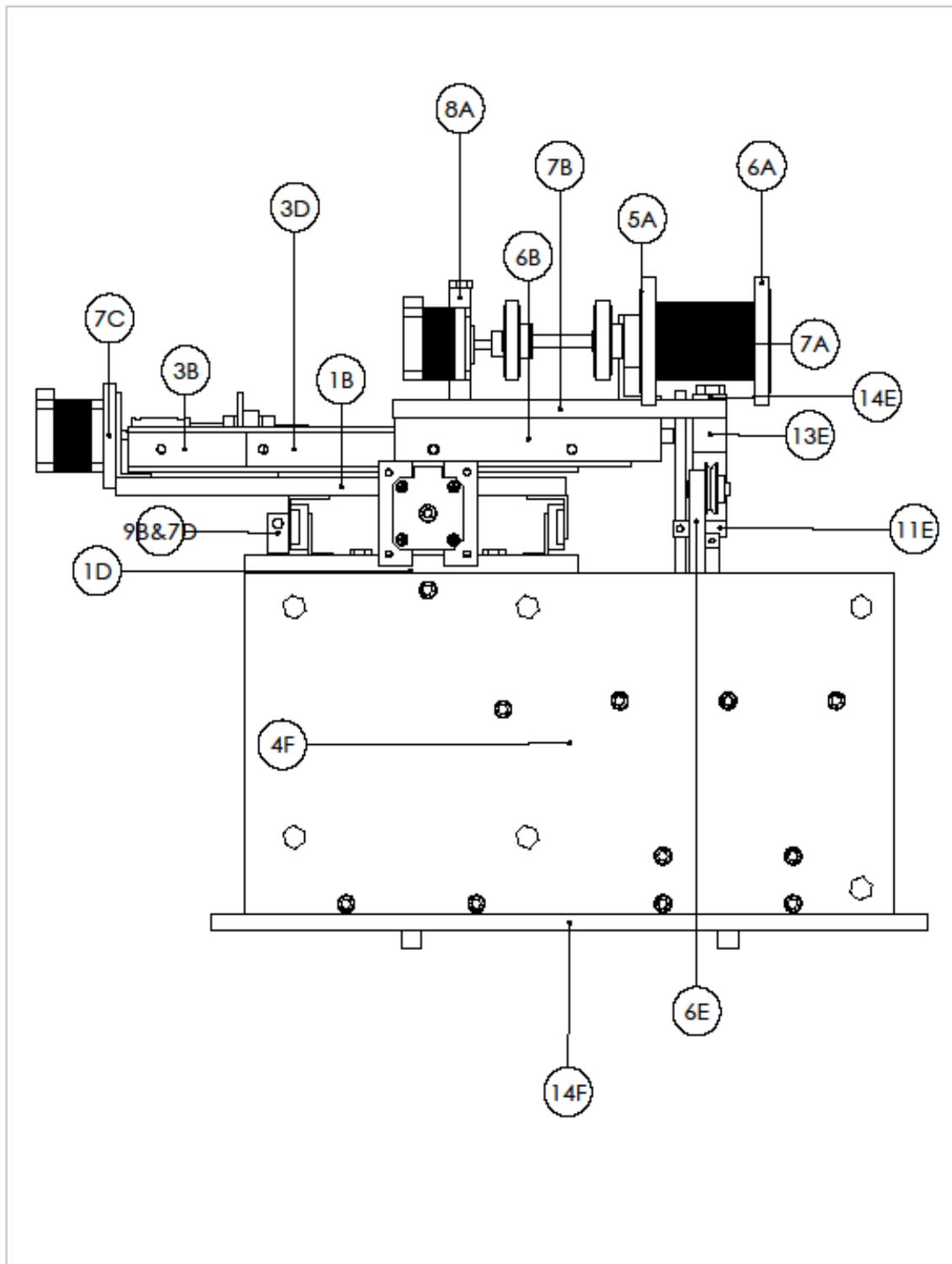
## Configuration Mécanique

### Liste de description des pièces

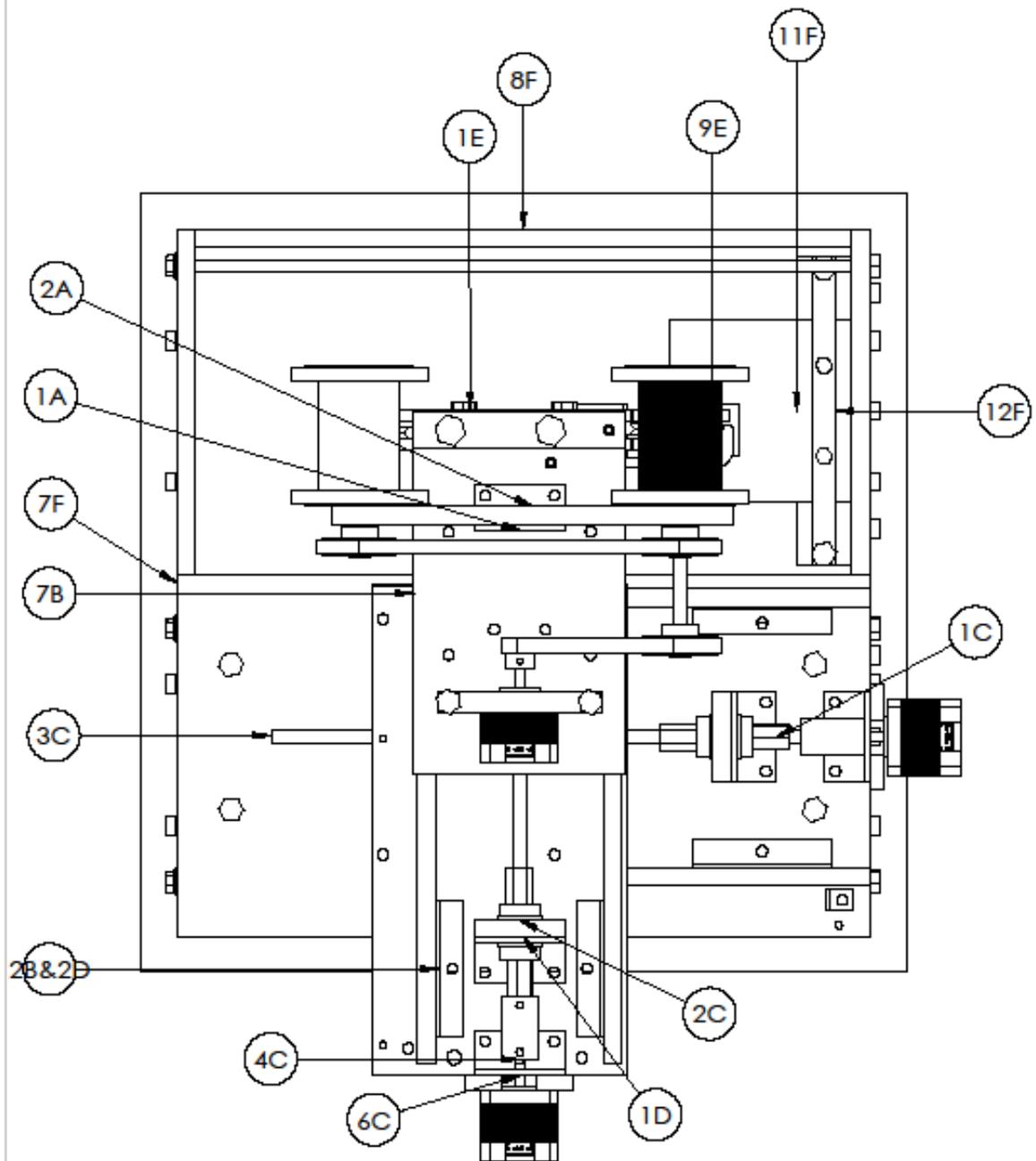
Partie	Quantité	Matériaux	Nom	Poids (g)	Remarques
1A	1	Aluminium	Équerre	41.42	
2A	1	Aluminium	Bras de support	253.52	
3A	1	Acier	Ressort à lames	1.31	
4A	2	Acier	Axe de bobine	63.13	
5A	4	Acier	Disque de diapositives	21.50	
6A	4	PVC/Plastique	Disque de bobine	45.03	
7A	2	Aluminium	Tambour de bobine	79.31	
8A	2	Aluminium	Barre de serrage	46.54	
9A	2	Aluminium	Arbre de serrage	10.93	
1B	1	HPL	Plateau de guidage	502.41	
2B	4	Aluminium	Équerre	22.20	La même que 2D
3B	2	Acier	Glissière	334.06	La même que 3D
4B	1	Aluminium	Butée d'arrêt	3.39	La même que 4D
5B	1	Aluminium	Équerre	59.93	
6B	1	Aluminium	Équerre	59.93	
7B	1	HPL	Plaque coulissante	304.80	
8B	1	Cuivre	Tube	68.20	
9B	2	Aluminium	Support de l'interrupteur de fin de course	3.16	La même que 7D
1C	2	Aluminium	Support de palier	40.75	
2C	2	Aluminium	Impasse	54.92	
3C	2	Acier	Vis trapézoïdale	121.75	
4C	2	Aluminium	Couplage	37.03	
5C	8	Aluminium	Bande décalée	11.78	
6C	2	Aluminium	Support de moteur	41.16	

7C	4	Aluminium	Support moteur	37.69	
1D	1	HPL	Plaque de guidage	1019.51	
2D	4	Aluminium	Équerre	22.20	La même que 2B
3D	2	Acier	Glissière de tiroir	178.24	La même que 3B
4D	1	Aluminium	Butée d'arrêt	3.39	La même que 4B
5D	1	Aluminium	Équerre	52.33	
6D	1	Aluminium	Équerre	52.33	
7D	2	Aluminium	Support de l'interrupteur de fin de course	3.16	La même que 9B
1E	4	HPL	Plaque du châssis du bras	33.49	
2E	5	Acier	Arbre de palier	8.68	
3E	2	Acier	Guide-fil	8.3738	
4E	5	HPL	Poulie	4.87	La même que 5G
5E	1	Aluminium	Bloc de liaison	25.02	
6E	1	Aluminium	Bras de poulie	19.47	
7E	2	Acier	Goujon de cadre	155.62	
8E	4	Acier	Goujon	2.7828	
9E	2	Aluminium	Bloc de trames	28.05	
10E	2	Acier	Calibre de nœud métallique	6.99	
11E	1	Aluminium	Collier de serrage	26.23	
12E	1	Cuivre	Tube	36.53	
13E	1	Aluminium	Impasse	155.88	
14E	1	Aluminium	Bande de contact	32.72	
1F	1	Aluminium	Bloc de vidange	82.90	
2F	1	HPL	Plaque de plancher	872.98	
3F	4	Aluminium	Bloc de montage	48.04	

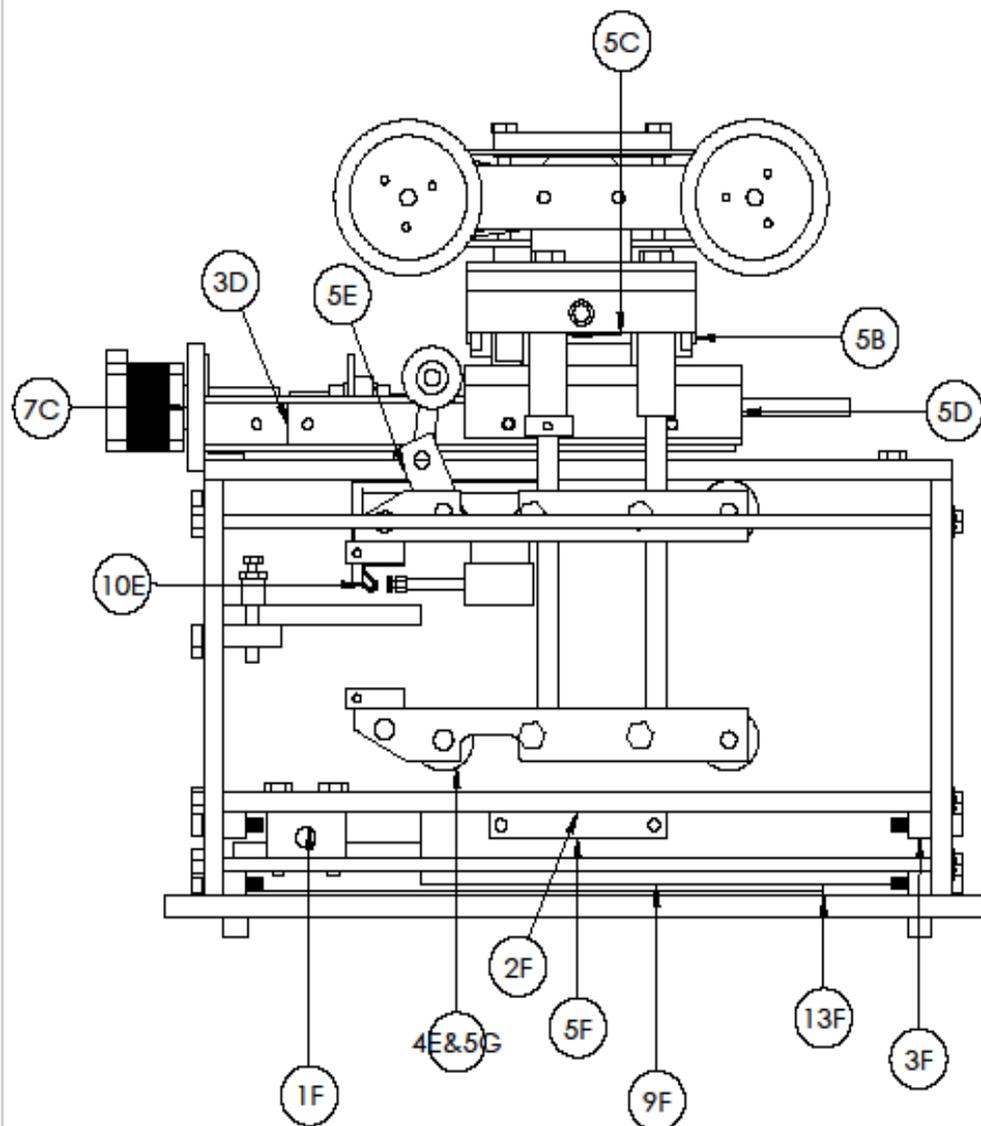
4F	1	HPL	Plaque latérale	1044.14	
5F	4	Aluminium	Bloc de support	48.63	
6F	6	Acier	Goujon	91.10	
7F	1	HPL	Plaque latérale	1046.64	
8F	1	Plastique ABS PC	Plaque avant	750.53	
9F	1	HPL	Plaque centrale	899.69	
10F	1	HPL	Plaque arrière	388.80	
11F	1	Aluminium	Lit de serrage	195.24	
12F	1	Aluminium	Bloc de serrage	93.06	
13F	1	Aluminium	Support de connecteur	89.62	
14F	1	HPL	Plaque de base	2442.01	
15F	2	Aluminium	Barre de montage	86.46	
1G	3	Acier	Goujon	44.39	
2G	2	HPL	Plaque latérale	217.93	
3G	2	Aluminium	Bras de poulie	132.82	
4G	1	Acier	Axe de poulie	82.86	
5G	1	HPL	Poulie	4.87	La même que 4E
6G	1	Acier	Axe de bobine	133.17	



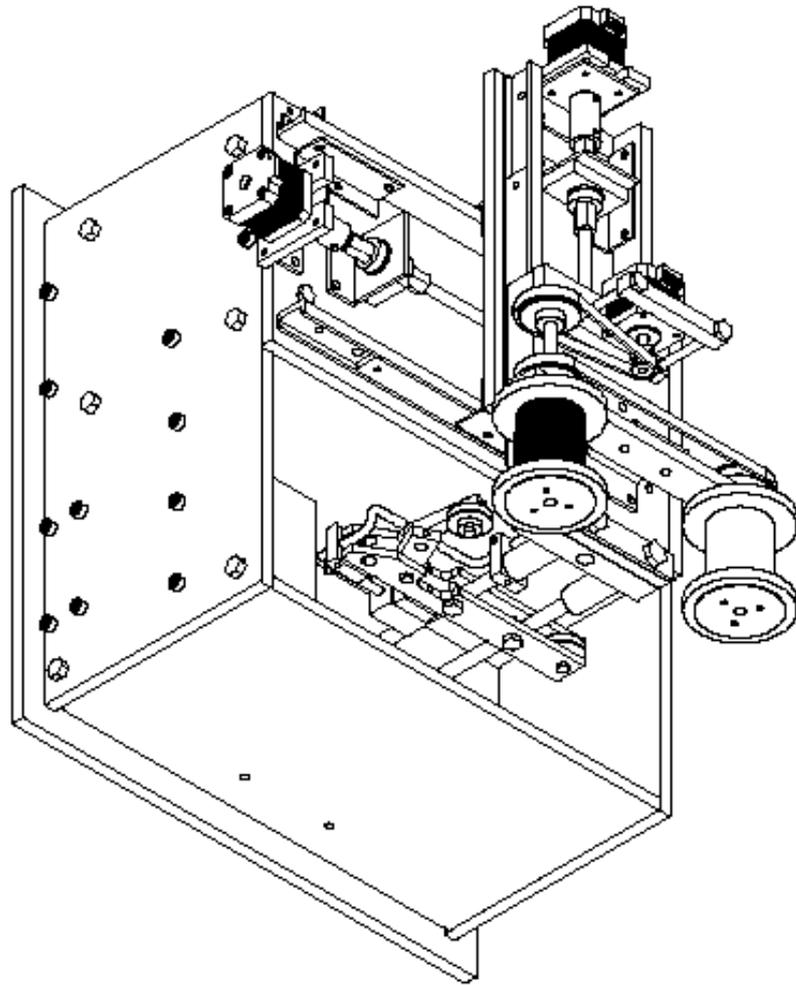
ECHELLE: 1:3	CRTI CHERAGA	UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA	DATE: 13/05/23
	NOM DE LA PIECE: <b>Dessin d'ensemble</b>		DESSINE PAR: Djellali / Soualhi
FORMAT: A4			



ECHELLE: 1:3	CRTI CHERAGA	UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA	DATE: 13/05/23
 FORMAT: A4	NOM DE LA PIECE: <b>Dessin d'ensemble</b>		DESSINE PAR: Djellali / Soualhi



ECHELLE: 1:3	CRTI CHERAGA	UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA	DATE: 13/05/23
	NOM DE LA PIECE: <b>dessin d'ensemble</b>		DESSINE PAR: Djellali / Soualhi
FORMAT: A4			



ECHELLE: 1:4	CRTI CHERAGA	UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA	DATE: 13/03/23
	NOM DE LA PIECE: Dessin d'ensemble		DESSINE PAR: Djellali / Soualhi
FORMAT: A4			

## Moteur pas à pas

Ce moteur pas à pas unipolaire Nema 23 avec Angle de pas 1.8deg et taille 57x57x54mm. Il a 6 fils, chaque phase dessine 0.44A, Couple de maintien 0.6Nm (84.97oz.in).

### Spécification électrique

Numéro de pièce du fabricant : 23HS21-0446S

Type de moteur : Uni polar Stepper

Angle de pas : 1.8 deg

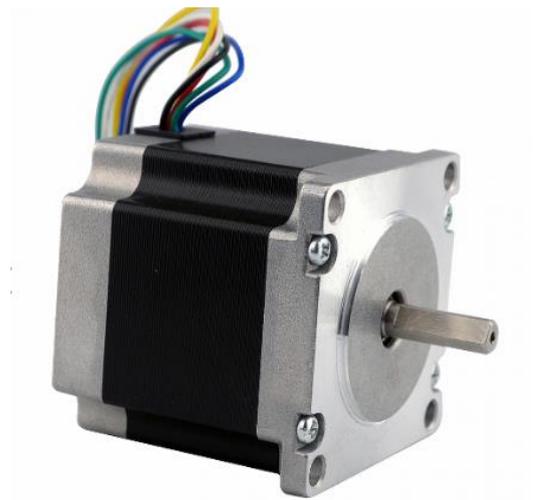
Couple de maintien : 0.6Nm (84.97oz.in)

Courant/phase : 0.44A

Tension : 11.88V

Résistance/phase : 27ohms

Inductance : 40mH  $\pm$  20%(1KHz)



### Spécification physique

Dimensions : 57 x 57mm

Longueur du moteur : 54mm

Diamètre d'arbre :  $\Phi$ 6.35mm (1/4 inch)

Longueur de l'arbre : 20.6mm

Longueur de D-Cut : 18mm

Nombre de câble : 6

Longueur de Cable : 1400mm