

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU

FACULTÉ DE GENIE DE LA CONSTRUCTION

DÉPARTEMENT DE GENIE MÉCANIQUE



MEMOIRE

de Master professionnel en Génie mécanique

Option : Fabrication mécanique et productique

Thème

Conception d'une scie diamantée

Proposé et dirigé par :

M. NECHICHE

Réalisé par :

MENDACI Farid

SAIM Djaffar

Promotion 2014-2015

REMERCIEMENTS

Le grand merci à notre encadreur Mr. NECHICHE Mustapha pour avoir d'abord proposé ce thème, pour le suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire, et qui n'a pas cessé de nous prodiguer ses conseils et remarques.

Nous tenons à remercier vivement toutes les personnes qui nous ont aidés à élaborer et réaliser ce mémoire.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département de génie mécanique qui ont contribué à notre formation.

Enfin nous tenons à exprimer nos reconnaissances à tous nos amis et collègues, pour le soutien moral et matériel.

A toutes et à tout, merci pour tout.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents

A mes sœurs

A mes cousins Said et Brahim

A tous mes amis

Djaafar

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents

A mes frères et sœurs

A tous mes amis

Farid

Liste des tableaux

Tableau III.1 : le cadre de réponse.....	35
Tableau III.2 : tableau comparatif des propriétés du Z200.	41
Tableau III.3 : les vitesses de coupe.....	58

Liste des figures

Figure III.1 : vue en perspective de la scie diamantée	33
Figure III.2 : vue en perspective du dispositif de coupe	33
Figure III.3 : vue en coupe du dispositif de coupe	34
Figure III.4 : schéma du dispositif proposé.....	37
Figure III.5 : Vue assemblée du chariot	38
Figure III.6 : Vue éclatée du chariot	38
Figure III.7 : vue en perspective de l'assise porte échantillon	38
Figure III.8 : vue en perspective de la glissière	39
Figure III.9 : vue en perspective de la contre-glissière	39
Figure III.10 : vue en perspective du tasseau.	40
Figure III.11 : Vue en perspective de la tige filetée	40
Figure III.12 : Vue du bras articulé assemblé	42
Figure III.13 : Vue en perspective de la partie fixe du bras articulé.	42
Figure III.14 : Vue en perspective de la partie mobile du bras articulé	43
Figure III.15: Schéma des trois types de moteurs	44
Figure III.16: Photo d'une carte Arduino uno	45
Figure III.17: Schéma des déplacements angulaire du moteur	47
Figure III.18 : Vue en perspective de la roue dentée	48
Figure III.19 : Vue en perspective du pignon	48
Figure III.20 : Vue assemblée du porte échantillon	49
Figure III.21 : Vue en perspective du mors fixe	50
Figure III.22 : Vue en perspective du mors mobile.....	50
Figure III.23 : Vue en perspective de la goupille.....	51
Figure III.24 : Vue en perspective de l'écrou de serrage	51
Figure III.25 : Vue en perspective du ressort.....	52
Figure III.26 : Vue en perspective de la table.	52
Figure III.27: Vue en perspective de la cornière d'encastrement	53
Figure III.28 : Vue en perspective du joint amortisseur.....	53
Figure III.29 : vue en perspective de la vanne d'arrêt.....	55
Figure III.30 : vue en perspective de la tuyauterie.	55
Figure III.31 : Vue en perspective du réservoir.	56

Figure III.32 : Vue en perspective du montage de la pompe sur le réservoir	56
Figure III.33 : Vue en coupe montrant le circuit de lubrification.	57
Figure III.34 : Vue en perspective montrant le montage du réservoir.	57
Figure III.35: Vue du système moteur - courroie - poulie étagée - disque diamanté.....	58
Figure III.36 : représentation schématique du bras articulé.	60
Figure III.37: représentation schématique des forces appliquée au mors fixe.	61
Figure III.38: représentation des sections dangereuses sur le mors fixe	62
Figure III.39: représentation des sections cisailées sur la goupille	65

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I Généralités sur la conception.....	2
1. Introduction.....	2
2. Le processus de conception.....	2
2.1. Formulation du besoin	2
2.2. Décomposition fonctionnelle	2
3. Etapes de la conception.....	3
4. Les différents types de conception.....	3
4.1. Conception originale.....	3
4.2. Adaptation.....	4
4.3. Conception dérivé	4
5. Les matériaux en conception.....	4
5.1. Propriétés des matériaux	4
5.1.1. Les familles de matériaux	5
5.2.1. Définition des propriétés des matériaux :	6
5.2.2. Propriétés physiques et mécaniques.....	6
5.2.3. Propriétés thermiques.....	9
6. Conclusion	10
Chapitre II Cahier des charges fonctionnel et analyse de la valeur	11
1. Établissement du cahier des charges fonctionnel.....	11
1.1. Introduction.....	11
1.2. L'expression fonctionnelle du besoin	11
1.3 Le cahier des charges fonctionnel.....	11
1.4. Les caractéristiques fondamentales d'un C.D.C.F	11
1.5. Buts et implication du C.D.C.F.....	12
1.6 .Variété des expressions et des situations du besoin	12
1.6.1. Situation du demandeur par rapports aux utilisateurs	12
1.6.2. Situation du demandeur dans une relation client fournisseur.....	12
1.7. Les éléments constituant un C.D.C.F	12
1.7.1. La présentation générale du problème	13
1.7.2. L'expression fonctionnelle du besoin	13

1.8. Elaboration du C.D.C.F.....	13
2. Analyse de la valeur.....	14
2.1. Introduction à l'analyse de la valeur	14
2.2. Généralités	15
2.2.1. Historique de l'analyse de la valeur :.....	15
2.2.2. Les idées de L. D. MILES.....	15
2.3. Les objectifs de l'entreprise	16
2.4. Définitions normatives.....	16
3. Plan de travail de l'analyse de la valeur.....	19
3.1. Orientation de l'action (Phase 1).....	19
3.2. Recherche de l'information (phase 2).....	21
3.3. Analyse des fonctions et des coûts (Phase3).....	21
3.3.1 Termes relatifs aux fonctions	22
3.3.2Types de fonctions	22
3.3.3 Démarche méthodique de la phase.....	23
3.4. Recherche d'idées et de voies de solutions (phase 4).....	28
3.5. Etudes et évaluations des solutions (phase 5)	29
3.6. Bilan prévisionnel (phase 6)	29
3.7. Suivi de réalisation (phase 7)	30
4. Avantages et inconvénients de l'analyse de la valeur.....	31
4.1. Avantages.....	31
4.2. Inconvénients	31
5. Conclusion	31
Chapitre III : Conception de la scie diamantée instrumentée.....	32
1. Introduction.....	32
2. Cahier de charge.....	32
2.1. Présentation général du problème	32
2.2. Objectif à atteindre :.....	34
2.3. Expression fonctionnelle du besoin :	35
2.4. Le cadre de réponse :	35
2.5. Contrainte :.....	36
3. Solutions adaptées.....	36
4. Conception des éléments de la scie.....	37
4.1. Le chariot :	37

4.1.1. Assise porte échantillon	38
4.1.2. Les glissières	39
4.1.3. Le tasseau	39
4.1.4. La tige filetée	40
4.1.5. Contraintes :	40
4.1.6. Solutions :	40
4.2. Le bras articulé	41
4.2.1. La partie fixe	42
4.2.2. La partie mobile	43
4.2.3. Moteur pas-à-pas	43
4.2.4. Roue dentée	48
4.2.5. Pignon	48
4.3. Le porte échantillon	49
4.3.1. Le mors fixe	49
4.3.2. Le mors mobile	50
4.3.3. La goupille	51
4.3.4. Ecrou de serrage	51
4.3.5. Ressort	52
5.4. La table	52
4.4.1. Cornière d'encastrement	53
4.5. Lubrification	53
4.5.1. Vanne d'arrêt	54
4.5.2. Tuyauterie	55
4.5.3. Le réservoir	55
4.5.4. Montage du système de lubrification	56
4.6. Variateur de vitesse	57
4.7. Partie études	58
4.7.1. Etude cinématique du système moteur - courroie - poulie étagée - disque diamanté : ..	58
4.7.2 : Etude dynamique du bras articulé :	59
4.7.3 : Vérification des sections dangereuse :	62
Conclusion générale	67
Bibliographie	68

Introduction générale

Depuis des lustres, l'homme s'est mis à perfectionner les outils de coupe. Allant de dispositifs basiques jusqu'aux systèmes combinés et complexes il a créé ainsi des machines de coupe qui ont révolutionné l'histoire de l'industrie en effet le domaine de la fabrication mécanique s'est développé de manière fulgurante grâce à l'utilisation d'outils de coupe travaillant à grande vitesse et dans des températures très élevées. Ces outils, utilisés sur des machines conventionnelles ont augmenté la cadence d'usinage pour pouvoir répondre aux besoins incessants de la guerre mondiale. Ainsi la naissance de nouveaux outils de coupe a rendu possible l'usinage des matériaux durs permettant leurs utilisations dans l'industrie chose qui était impossible autrefois. Dans ce travail, on s'est intéressé à une scie diamantée présente dans le marché, et qui est l'une des machines indispensables de l'ère moderne, afin de l'améliorer pour une meilleure précision. Entamant cette tâche par une étude approfondie du model déjà existant on s'est donné comme objectif une conception optimale de cet appareil, nous avons chapitré notre travail comme suit

Initialement le premier chapitre : il s'agit de donner des généralités sur la conception en abordant ses différents types et leurs processus de mise en œuvre et aussi d'illustrer l'importance et l'influence du choix des matériaux dans une conception.

Deuxième chapitre : dans ce chapitre nous avons parlé du cahier de charge et des étapes de son établissement, nous avons aussi essayé d'expliquer le principe de l'analyse de la valeur qui est une méthode scientifique adopté pour réussir une conception.

Troisième chapitre : ce chapitre qu'on peut considérer comme étant la partie pratique de ce travail qui consiste dans les modifications apportés a la scie, nous allons décrire les différents dispositifs introduits sur cette machine, et conçues grâce au logiciel Solidworks.

Nous terminerons ensuite par une conclusion générale qui serra un petit récapitulatif des chapitre précédents.

Introduction

Le mot conception exprime différentes choses. Tout objet fabriqué incarne d'une façon ou d'une autre la conception ; en passant de la vaisselle et des vêtements aux machines les plus sophistiquées.

L'homme a recours à la conception depuis la préhistoire jusqu'à ce jour. Des moyens les plus rudimentaires de chasse et d'agriculture jusqu'aux moyens de locomotion et de communication les plus modernes, tout est conçu et fabriqué par l'homme.

Dans ce qui suit, nous allons nous intéresser à la conception des objets mécaniques.

I.1 Le processus de conception

I.1.1 Formulation du besoin

La conception est un processus itératif : au départ, il y a un besoin du marché ou une nouvelle idée ; à l'arrivée, le cahier des charge complet du produit qui répond à ce besoin ou concrétise cette idée. Il faut d'abord formuler le besoin (la tâche que le produit doit effectuer), d'une manière précise et objective, afin d'éviter que la réflexion ne soit bridée ou trop vague.

I.1.2 Décomposition fonctionnelle

Le produit lui-même est un système technique constitué d'ensembles, de sous-ensembles et de composants, assemblés de façon à accomplir la tâche demandée. Cette décomposition est pratique pour décrire un système déjà existant, mais s'avère peu utile pour en concevoir de nouveaux.

Pour cela, il vaut mieux se servir des outils de l'analyse des systèmes, qui pense en termes d'entrées, de flux et de sorties d'information, d'énergie et de matière. La conception permet de convertir les entrées en sorties. Ainsi, un moteur électrique convertit de l'électricité en énergie mécanique ; une alarme recueille des informations et les transforme en bruit. Dans cette approche, le système est décomposé en sous-systèmes reliés entre eux et qui remplissent des sous-fonctions spécifiques ; il en résulte un arrangement que l'on appelle structure fonctionnelle ou décomposition fonctionnelle du système. D'autres choix de conception lieraient les fonctions unitaires d'autres façons, les combinant ou les séparant. La structure fonctionnelle permet d'évaluer de façon systématique les différentes options de conception [1].

I.2 Etapes de la conception

La conception se déroule en imaginant des concepts pour remplir chaque sous-fonction, chacun reposant sur un principe de fonctionnement. A ce stade, toutes les options sont ouvertes : le concepteur prend en compte toutes les alternatives pour les sous-fonctions et la façon de les combiner ou de les séparer.

A l'étape suivante de concrétisation, il s'intéresse aux concepts les plus prometteurs et évalue leur fonctionnement, pré-dimensionne les composants et choisit les matériaux pouvant travailler dans les intervalles de contraintes, de température et les environnements évalués par l'étude du besoin, puis il évalue les implications en termes de performances et de coût. A la fin de cette étape, il aboutit à une configuration valable détaillée.

Dans cette dernière étape, les spécifications sont établies pour chaque composant ; pour les composants critiques, des analyses thermiques ou mécaniques peuvent être envisagées.

On applique ensuite les méthodes d'optimisation à chaque composant et groupe de composants afin de maximiser les performances. Le choix de la géométrie finale est arrêté, le processus de fabrication est détaillé et la conception est chiffrée. A la fin de cette étape, le cahier des charges complet du produit est prêt [1].

I.3 Les différents types de conception

I.3.1 Conception originale

Elle implique une nouvelle idée ou un nouveau principe de fonctionnement, les nouveaux matériaux peuvent offrir de nouvelles et uniques combinaisons de propriétés qui rendent possible une conception originale : le silicium haute pureté a rendu possible le transistor, le verre haute pureté les fibres optiques. Ainsi parfois, un nouveau matériau entraîne un nouveau produit, mais un nouveau produit peut aussi exiger le développement d'un nouveau matériau, comme cela a été le cas avec la technologie nucléaire et les alliages à base de zirconium [1].

I.3.2 Adaptation

Dans ce cas, on prend un concept existant et on cherche à l'améliorer en affinant son principe de fonctionnement. Ici aussi, le développement des matériaux est souvent moteur : remplacement des matériaux métalliques par des polymères dans les appareils électroménagers, du bois par des composites à fibres de carbone dans les articles de sport. Ces secteurs industriels sont tous deux importants et compétitifs, et la façon dont les nouveaux matériaux ont été utilisés a souvent permis aux fabricants de gagner des marchés [1].

I.3.3 Conception dérivé

Elle implique un changement d'échelle, de dimension ou de niveau de détail sans changement de la fonction ou de la méthode utilisée (par exemple : agrandissement d'une turbine). Le changement d'échelle ou de conditions d'utilisation peut nécessiter un changement de matériau. Ainsi, les petits bateaux sont faits en composites à fibre de verre, les grands en acier, les carcasses avions subsoniques sont faites avec un certain alliage, les avions supersoniques avec un autre .

I.4 Les matériaux en conception

Chacune des étapes du processus de la conception nécessite de choisir les matériaux à partir desquels ce produit sera fait. Le plus souvent, le choix d'un matériau est imposé par la conception, mais parfois c'est l'inverse : une amélioration sur un produit existant est possible par l'utilisation d'un nouveau matériau. La palette de matériaux disponibles est très large, comment alors l'ingénieur doit faire son choix ? Il faut répondre à cette question différemment selon le stade de processus de conception auquel on se trouve. Au départ, la conception est ouverte et le choix large. Au fur et à mesure de l'avancement du processus, les critères de sélection deviennent plus précis et la liste se rétrécit [1].

Le choix du matériau ne peut se faire indépendamment du choix du procédé de fabrication. Le coût rentre également en compte, ainsi que le confort et l'esthétique du produit.

Depuis toujours, les matériaux ont fixé les limites de la conception. Les différents âges marquant l'évolution de l'humanité portent le nom des matériaux utilisés : âge de pierre, de bronze, de fer, etc.

I.4.1 Propriétés des matériaux

Un bon produit utilise les matériaux les mieux adaptés et en exploite pleinement le potentiel et les caractéristiques.

I.4.1.1 Les familles de matériaux

On classe habituellement les matériaux en six grandes familles : métaux, polymères, élastomères, céramiques, verres et composites.

Les métaux

Les métaux sont rigides, c'est-à-dire qu'ils ont modules d'élasticité relativement élevés. On peut les renforcer (augmenter cette rigidité) par des éléments d'alliage, par traitements mécaniques et/ou thermiques. Ils restent suffisamment ductiles. Ce qui permet de les mettre en forme par déformation. Certains alliages à haute résistance (comme les aciers à ressorts)

ont une ductilité faible (de l'ordre de 2%). Cela suffit pour que le matériau se déforme avant de rompre et pour que cette rupture soit de type ductile. A cause de leur ductilité, les métaux sont sujets à la fatigue et parmi toutes les familles de matériaux, ils sont les moins résistants à la corrosion.

Les céramiques et les verres

Ils possèdent également des modules élevés mais, à l'inverse des métaux, ils sont fragiles. Leur résistance en traction est faible. En compression, elle est environ 15 fois supérieure. De par l'absence de ductilité, ils possèdent une faible tolérance aux concentrations de contraintes (comme les trous ou les fissures) ou aux contraintes de contact élevées (aux points de serrage, par exemple). En effet, les matériaux ductiles supportent les concentrations de contraintes en se déformant pour redistribuer la charge de façon plus égale. Grâce à cela, ils peuvent être utilisés sous des charges statiques proches de leur limite d'élasticité. Ce qui n'est pas possible avec les céramiques. Les matériaux fragiles présentent toujours une grande dispersion de résistance ; résistance qui dépend-elle-même du volume du matériau soumis à la charge et du temps pendant lequel elle est appliquée.

Les céramiques ne sont donc pas aussi faciles à utiliser en conception que les métaux. Toutefois, elles possèdent des caractéristiques intéressantes. Elles sont rigides, dures, résistent à l'abrasion (ce qui explique leur usage dans les paliers et les outils de coupe), elles conservent leur résistance aux hautes températures et résistent bien à la corrosion.

Les polymères et les élastomères

Ces matériaux possèdent des modules faibles, environ 50 fois inférieurs à ceux des métaux, mais ils peuvent être résistants. Une conséquence de cela est qu'ils peuvent se déformer de façon importante. Ils sont sujets au fluage, même à température ambiante. Par conséquent un matériau polymère soumis à une charge acquiert avec le temps une déformation permanente. Leurs propriétés dépendent de la température, ce qui fait qu'un polymère peut résister et se déformer à 20 °C (température ambiante), fragile à 4 °C et sujet au fluage à 100 °C. De manière générale, les polymères ne présentent pas de résistance intéressante au-dessus de 200 °C [1].

Les composites

Ces matériaux sont obtenus par le mélange de matériaux de famille et de natures différentes, ils combinent les propriétés intéressantes des autres familles en « comblant » les

inconvenients. Ils sont légers, rigides et résistants et peuvent être tenaces. La majorité des composites disponibles aujourd'hui sont à matrice polymère (en général époxyde ou polyester), renforcée de fibres de verre, carbone ou kevlar. Ils ne peuvent être utilisés au-dessus de 250 °C à cause du ramollissement de la matrice polymère, mais leurs performances à température ambiante sont exceptionnelles.

Les pièces en composites coûtent cher et sont difficiles à mettre en forme et à assembler. C'est pour cette raison que, malgré leurs propriétés intéressantes, le concepteur ne les utilisera que si le surcroît de performance justifie le surcoût [1].

I.4.2.1 Définition des propriétés des matériaux

Chaque matériau possède un ensemble de caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques. Le concepteur ne recherche pas un matériau en tant que tel, mais une combinaison de caractéristiques, c'est-à-dire un profil du matériau.

I.4.2.2 Propriétés physiques et mécaniques

Densité

La densité (ρ) d'un matériau est égale au rapport de la masse volumique de ce matériau à celle de l'eau à 25°C qui, elle vaut 1000 Kg/m³. De ce fait, la densité est sans dimension.

Modules d'élasticité

Ils sont définis (en GPa ou GN.m⁻²) comme la pente de la partie élastique linéaire de la courbe contrainte-déformation.

- Le module d'Young E décrit le comportement en traction et en compression.
- Le module de cisaillement G celui en cisaillement.
- Le module de compressibilité k décrit l'effet de la pression hydrostatique.
- Le coefficient de Poisson ν (sans dimension) est égal à l'opposé du rapport entre la déformation transversale et la déformation longitudinale, dans un essai de traction maximal.

Résistance mécanique

La définition de cette grandeur σ_f (en MPa ou MN.m⁻²) nécessite de faire la distinction entre les familles des matériaux.

Métaux

Pour les métaux, on l'assimile à la limite d'élasticité conventionnelle $R_{0,2}$, c'est-à-dire la contrainte correspondant à un allongement permanent de 0,2%. C'est la contrainte à laquelle les dislocations commencent à parcourir des grandes distances, et elle est identique en traction et en compression.

Polymères

Pour les polymères, on l'assimile à la limite d'élasticité apparente, contrainte à laquelle la courbe contrainte-déformation devient clairement non linéaire. Ce phénomène peut être dû au glissement irréversible de chaînes moléculaires ou à la microfissuration, c'est-à-dire l'apparition de zones de faible densité semblables à des craquelures, qui diffusent la lumière, faisant paraître le polymère blanc. Les polymères sont un peu plus résistants (de 20 % environ) en compression qu'en traction.

Céramiques et verres

La résistance, pour les céramiques et les verres, dépend fortement du mode de chargement. La résistance en traction R_{mt} est bien moins importante que celle en compression R_{mc} .

Pour les matériaux difficiles à maintenir par serrage (comme les céramiques), la mesure de la résistance peut être en flexion. Le module de rupture (en MPa ou $MN.m^{-2}$) est la contrainte de surface maximale dans une poutre en flexion au moment de la rupture. On pourrait s'attendre à ce que cette valeur soit exactement la même que la résistance mesurée en traction, mais pour les céramiques, elle est supérieure (d'un facteur 1,3 environ). En effet, le volume subissant la contrainte est petit et la probabilité de présence d'un défaut de grande taille est faible, alors qu'en traction, tous les défauts sont soumis à cette contrainte maximale.

Composites

Pour définir la résistance d'un matériau composite, le mieux est de prendre la contrainte correspondant à une certaine déformation permanente. On choisit parfois 0,5 %. Les composites contenant des fibres (y compris les composites naturels comme le bois) sont moins résistants en compression qu'en traction parce que les fibres ont tendance à flamber.

Résistance à la traction

C'est la contrainte nominale R_m (en MPa) à laquelle une éprouvette cylindrique du matériau, chargé en traction, se casse.

Energie élastique

Notée R (en J.m^{-3}), elle mesure l'énergie élastique maximale qui peut être stockée par un matériau et restituée une fois la charge supprimée.

Dureté

La dureté H d'un matériau (en MPa) est une estimation grossière de la résistance. On la mesure en appuyant une pointe diamant ou une bille d'acier trempé sur la surface du matériau. La dureté est définie comme le rapport de la force appliquée par la surface projetée du poinçon. On peut la relier à la limite d'élasticité ainsi :

$$H=3 \sigma_0$$

On exprime souvent la dureté avec d'autres unités, la plus courante étant l'échelle de dureté Vickers H_v (en kg.mm^{-2}), reliée à la précédente par :

$$H=10H_v$$

Ténacité

L'énergie de rupture G_c (en kJ.m^{-2}) et la ténacité K_c (en $\text{MPa.m}^{1/2}$) expriment la résistance du matériau à la propagation d'une fissure. On mesure la ténacité en chargeant une éprouvette dans laquelle on a fait une fissure d'une certaine longueur et en enregistrant la contrainte σ_c pour laquelle la fissure se propage.

Capacité d'amortissement

Cette quantité sans dimension exprime la facilité qu'a un matériau à dissiper l'énergie vibratoire.

Fatigue

Un chargement cyclique ne fait pas que dissiper de l'énergie, mais peut aussi provoquer la germination et la croissance d'une fissure, menant à une rupture par fatigue. La plupart des matériaux possède une limite d'endurance, qui est l'amplitude de contrainte en deçà de laquelle la rupture ne se produit pas, ou alors seulement après un très grand nombre de cycles ($>10^7$). Cette notion s'exprime par un nombre sans dimension, le rapport de fatigue f , qui est égal au rapport entre la limite d'endurance et la limite d'élasticité.

I.4.2.3 Propriétés thermiques

Conductivité thermique

La vitesse à laquelle la chaleur se propage en régime permanent à travers un solide s'exprime par sa conductivité thermique λ (en $\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$), en enregistrant le flux de chaleur q (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) s'écoulant entre deux surfaces à des température respectives T_1 et T_2 , séparées par une distance X . la loi de Fourier donne :

$$q = -\lambda \frac{dT}{dX} = \frac{T_1 - T_2}{X}$$

La mesure n'est pas aisée en pratique (surtout pour les matériaux à faible conductivité), mais on trouve en général aujourd'hui des données fiables.

Températures caractéristiques

La calorimétrie peut également être utilisée pour connaître la température de fusion T_f et la température de transition T_g (en K). Cette dernière est une propriété des matériaux non cristallins qui ne possèdent pas de point de fusion bien défini, et caractérise la transition entre le solide et le liquide visqueux.

Coefficient de dilatation :

La plupart des matériaux se dilatent quand ils sont chauffés. La déformation thermique par degré de température s'exprime par le coefficient de dilatation thermique α (en K^{-1}). Si le matériau est isotrope thermiquement, la dilatation volumique par degré sera 3α ; s'il est anisotrope, il faudra définir d'autres coefficients et la dilatation volumique sera égale à la somme des déformations thermiques principales.

Fluage

La résistance au choc thermique (t K) est l'écart maximum que peut subir un matériau lors d'une trempe sans être endommagé.

I.5 Conclusion

En conception mécanique, on considère six grandes familles de matériaux: les métaux, les polymères, les élastomères, les céramiques, les verres et les composites qui combinent les propriétés de deux ou plus d'entre elles. Les matériaux d'une même famille présentent des propriétés communes :

Les céramiques sont dures, fragiles et résistent bien à la corrosion ;

Les métaux sont ductiles, résistants à la déformation et bon conducteurs électriques ;

Les polymères sont légers, faciles à mettre en forme et isolants électriques.

Chapitre II

Cahier des charges fonctionnel et analyse de la valeur

1. Établissement du cahier des charges fonctionnel

1.1. Introduction

Le cahier des charges fonctionnel est constitué à partir d'une liste des fonctions de service que doit fournir le produit. Il fait l'objet d'une norme française, la NFX50-151. C'est pratiquement le seul document officiel portant sur l'établissement d'un cahier des charges.

1.2. L'expression fonctionnelle du besoin

La demande de conception, pour être rationnel et efficace, commence par une formulation exhaustive et aussi claire que possible du besoin, exprimé ou implicite, des utilisateurs. Cette formulation du besoin, généralement multiforme, se fera à travers la recherche et l'identification des différentes fonctions qui le composent [5].

Il s'agit alors d'une expression fonctionnelle du besoin, en termes de finalité, sous référence aux solutions techniques susceptibles d'y répondre. Une telle formalisation préserve toutes les chances d'émergence d'innovation au moment de la conception du produit.

1.3 Le cahier des charges fonctionnel

La norme NF50-150 le définit comme document par lequel le demandeur exprime son besoin en termes de fonctions de service et de contraintes. Pour chacune d'elles sont définis des critères d'appréciation et leur niveau. Chacun de ces niveaux doit être assorti d'une flexibilité.

Autrement dit, il s'agit d'un document qui définissant un résultat voulu par le demandeur et non un produit précis pour l'obtenir.

1.4. Les caractéristiques fondamentales d'un C.D.C.F

a) **La flexibilité** : c'est l'ensemble d'indications exprimé par le demandeur sur les possibilités de moduler un niveau recherché pour un critère d'appréciation. Elle permet d'organiser le dialogue entre partenaires dans la recherche d'une véritable optimisation. Cette flexibilité possède une limite d'acceptation.

b) Le taux d'échange : c'est le rapport déclaré acceptable par le demandeur entre la variation du prix et la variation correspondante du niveau d'un critère d'appréciation, ou entre les variations de niveau et deux critères d'appréciation.

Ces deux notions précédentes sont intéressantes : elles assouplissent le cahier des charges qui prend une allure de contrat notarial. En mettant en regard l'importance qu'accorde le demandeur aux différentes fonctions du produit et le savoir-faire du concepteur-réalisateur.

1.5. Buts et implication du C.D.C.F

Le demandeur est, par le niveau auquel il situe son besoin, le premier responsable des coûts. Il précède, dans la responsabilité des coûts, le concepteur réalisateur qui propose la solution permettant d'atteindre le niveau prescrit.

1.6 .Variété des expressions et des situations du besoin

1.6.1. Situation du demandeur par rapports aux utilisateurs

Le C.D.C.F sert au demandeur à exprimer ses besoins ou ceux des utilisateurs qu'il représente.

1.6.2. Situation du demandeur dans une relation client fournisseur

Le C.D.C.F sert au demandeur à provoquer chez le concepteur-réalisateur la conception et la réalisation du produit le plus efficient.

Il sert aussi à favoriser le dialogue entre partenaires et au dépouillement des propositions.

1.7. Les éléments constituant un C.D.C.F

Le cahier des charges fonctionnel est constitué principalement par les éléments suivants :

1.7.1. La présentation générale du problème

La présentation du produit (synthèse de la formulation du besoin), son niveau d'intégration, et des informations pour motiver le partenaire.

Le contexte du projet, les objectifs. Il s'agit d'apporter au concepteur toutes les informations jugées utiles sur le contexte général du projet : limites de l'étude, étude déjà effectuée, suites prévues.

1.7.2. L'expression fonctionnelle du besoin

C'est le résultat d'une analyse fonctionnelle du besoin. Elle constitue l'essentiel du C.D.C.F et fournit une référence pour les deux parties en présence.

L'appel à variante :

S'il y a lieu, il peut être demandé à chacun des concepteurs pressentis, au-delà d'une proposition répondant à l'expression fonctionnelle, une ou plusieurs autres répondant à sa propre perception du besoin.

Cette ouverture stimule l'innovation et peut permettre de souder des voies plus ambitieuses.

1.7.3. Le cadre de réponse

Il est imposé au concepteurs-réalisateurs dans le cas d'offres multiples afin de faciliter le dépouillement de ces derniers. La présentation fonctionnelle utilisée par le demandeur pour décrire les besoins, sera reprise par le concepteur pour présenter sa proposition.

Ce cadre de réponse porte sur chaque fonction et sur l'ensemble du produit.

1.8. Elaboration du C.D.C.F

L'élaboration du C.D.C.F nécessite la mise en place, chez le demandeur, d'une structure de travail analogue à celle mise en œuvre pour une action d'analyse de la valeur.

Le C.D.C.F est un document qui s'enrichi progressivement au cours de la création du produit depuis la saisie du besoin jusqu'au lancement du développement en passant par plusieurs phases.

2. Analyse de la valeur

2.1. Introduction à l'analyse de la valeur

Nous ne devons jamais nous estimer satisfait des objets, des réalisations qui nous entourent et des solutions matérielles ou immatérielles que nous apportons normalement à nos problèmes.

L'habitude et la paresse intellectuelle, naturelle de la plupart d'entre nous, font que nous ne songeons pas à remettre en cause des solutions qui sont devenues pour nous des évidences, si en outre nous sommes les auteurs de certaines d'entre elles. De plus, un peu d'amour propre renforce souvent nos attitudes.

Tous les produits que traite l'entreprise, aussi petits soient-ils sont obtenus soit par hasard soit par l'inspiration, sinon avec des solutions ou des améliorations simples, parfois longues et difficiles à trouver. Ces solutions se heurtent à des conventions, et à des réalisations habituelles ! Ajouter à cela que l'on tient rarement un raisonnement systématique ou une analyse en termes de fonctions ou encore moins un effort d'imagination créatrice.

Mais si l'on adopte cette étude, qui à chaque étape du raisonnement et de la recherche est éclairée, guidée par des chiffrages, des analyses de coût et des bilans comparatifs de solutions, on a de fortes chances de trouver des dispositifs sensiblement plus économiques que les précédents, tout aussi satisfaisants qu'eux sinon d'avantage.

L'analyse de la valeur est cette recherche méthodique et systématique des solutions les plus économiques capables de remplir des fonctions utiles.

Ainsi l'analyse de la valeur, étudie sous l'aspect de leurs fonctions et leurs coûts les moyens qui permettent à l'homme de satisfaire directement ou indirectement ses besoins et ses désirs, de sorte que pour elles la réalisation d'une fiche électrique, d'un avion, d'une fusée d'un service de nettoyage de locaux, sont des problèmes dans une certaine mesure comparables.

L'analyse de la valeur, lorsqu'elle se préoccupe des produits, a également pour objectif essentiel de parvenir à une réduction des coûts ou plutôt aux coûts minima, qu'il s'agisse de produits existants ou de produits nouveaux à créer, mais elle le fait en s'attachant aux fonctions à remplir et non en partant de la réalisation actuelle ou d'une réalisation classique du produit. La conception se trouve donc pleinement intégrée au travail entrepris [6].

2.2. Généralités

2.2.1. Historique de l'analyse de la valeur :

Au lendemain de la seconde guerre mondiale, en 1947 LD MILES, sous l'impulsion de R.S.MACNAMARA, directeur de GENERAL ELECTRIC, qui amorce les premiers travaux d'analyse de la valeur avec son petit groupe de travail.

Très encourageantes, ces premières études sont vite généralisées. Elles abordent simultanément les notions de performance et de coûts, en recherchant des optimums.

La démarche de l'analyse de la valeur commence à se formaliser et c'est vers 1955 qu'elle est introduite en GRANDE BRETAGNE et au JAPON, en 1970 un développement méthodologique important conduira en 1978 à la création de L'AFAV (association française pour l'analyse de la valeur).

Quatre normes seront ensuite publiées en 1984/1985, des projets de normes européenne (ISO) concernent actuellement la démarche et aussi la certification des experts et animateurs. En juin 2000 l'AFAV a apporté une contribution importante avec la norme EN 12 -12 - 973 relative au management par la valeur.

2.2.2. Les idées de L. D. MILES

C'est un américain, LAURANCE D MILES ingénieur qui, alors qu'il travaillait au département des approvisionnements de GENERAL ELECTRIC COMPANY, développa les bases de l'analyse de la valeur. Il avait été amené à faire trois observations fondamentales liées aux activités du bureau d'études et ses rapports avec la production :

- Si l'on communique au bureau d'études des informations économiques contenant notamment les prix des matières premières, du produit semi-œuvrés, des composants achetés à l'extérieur, les coûts de fabrication, on peut obtenir une économie de 5% sur le coût final des produits fabriqués [7].

- Si lors de la conception du produit, le bureau d'études ne travaille pas seul, mais prend l'avis des autres secteurs, méthodes, production, contrôle, vente et après vente...etc, impliqués dans le développement du produit, l'économie sur les coûts peut atteindre 10%.

- Enfin, si l'on remet totalement en cause les principes même de la conception du produit, en ne se limitant plus à des modifications de détail, l'économie obtenue peut atteindre et dépasser 20%.

2. 3. Les objectifs de l'entreprise

Le succès actuel de l'analyse de la valeur repose sur sa capacité à répondre aux problématiques de l'entreprise. Dans un environnement concurrentiel mondialisé, les entreprises doivent en effet satisfaire à deux objectifs principaux :

- réaliser des bénéfices sur les produits et les services
- assurer leur propre pérennité

On notera que les bénéfices constituent des ressources pour assurer la pérennité.

Ces deux objectifs se déclinent en deux missions principales :

- produire au plus juste ce qui va influencer sur la réalisation des bénéfices.
- satisfaire les clients, ce qui participe à assurer la pérennité de l'entreprise.

La première mission (produire au plus juste) concerne l'entreprise et son fonctionnement interne, la deuxième (satisfaire les clients) concerne l'entreprise au niveau de ses prestations externes.

L'analyse de la valeur propose aussi d'ajuster le fonctionnement interne pour optimiser les prestations externes. Il s'agit donc d'optimiser les choix techniques.

2. 4. Définitions normatives

Un ensemble de méthodes telles que le management de la valeur, l'analyse de la valeur, l'analyse fonctionnelle, ont pour base le concept de la **valeur** et l'approche fonctionnelle.

L'utilisation commune de ces méthodes et la compréhension commune des normes conduit à la nécessité de définir dans une norme de vocabulaire la signification précise des termes spécialisés qui sont utilisés.

La **NF EN 1325-1 : 1996** est une norme traitant d'analyse de la valeur et d'analyse fonctionnelle, elle donne les définitions de la majorité des termes contenus dans cette dernière.

a) Quelques termes généraux

a.1 La valeur

Relation entre la contribution de la fonction (ou du sujet **Av**) à la satisfaction du besoin et le coût de la fonction.

Note 1 : Le terme valeur est également utilisé lorsque des éléments autres que le coût, tels que fiabilité, poids, disponibilité de ressources et délais sont pris en compte.

Note2 : Dans la signification (**Av**) initiale, la valeur était seulement le rapport entre fonctions et coûts.

Note3 : Cette définition concerne la valeur pour un utilisateur déterminé (la valeur peut être différente pour des utilisateurs différents). Le coût de la fonction est le coût (ou prix) que l'utilisateur supporte. Lorsque la valeur est considérée par rapport au producteur, le coût pris en compte est le coût de production

a.2 Analyse de la valeur

Démarche créative et organisée utilisant un processus de conception fonctionnel et économique dont le but est d'augmenter la valeur d'un sujet **AV**.

Note 1 : Le sujet **AV** peut être un produit existant ou un nouveau en cours de développement.

Note 2 : Le processus analyse de la valeur est mis en œuvre par un groupe et caractérisé par le plan de travail **AV**.

a. 3 Le besoin : Ce qui est nécessaire à l'utilisateur ou désiré par ce dernier.

Note : Un besoin peut être explicite ou implicite; il peut être existant ou potentiel.

a. 4 : Le produit : Résultat d'une activité ou d'un processus.

Note 1 : Le terme produit peut inclure les services, les matériels, les produits issus de processus à caractère continu, les logiciels ou une combinaison des deux.

Note 2 : Un produit peut être matériel (par exemple assemblage de pièces mécanique) ou immatériel (par exemple les connaissances et les concepts).

Note 3 : Le produit peut être soit intentionnel (une offre aux clients par exemple) soit non intentionnel (par exemple une pollution ou des effets indésirables).

b) Quelques termes relatifs au déroulement d'une action Av :

b.1 Plan de travail : Procédure méthodique et organisée comportant un certain nombre de phases, destinées à assurer une mise en œuvre réussie de l'analyse de la valeur.

b.2 Groupe de travail : Groupe multidisciplinaire de personnes choisies pour leur expérience, leur expertise et/ou leur responsabilité dans divers aspects du sujet av et qui entreprennent le projet av.

b.3 Analyse fonctionnelle : Démarche qui décrit complètement les fonctions et leurs relations qui sont systématiquement caractérisées, classées et évaluées.

b.4 Cahier des charges fonctionnelles (C.D.C.F) :

Document par lequel le demandeur exprime ses besoins (ou ceux qu'il a la charge d'exprimer) en termes de fonctions de services et de contraintes. Pour chacune d'elles sont définis des critères d'appréciation ainsi que leurs niveaux, chacun de ces niveaux est assorti d'un certain degré de flexibilité.

3. Plan de travail de l'analyse de la valeur

Le plan de travail de l'analyse de la valeur a fait l'objet de définitions normatives (**NF EN 1325-1 1996** et **NF X-50-150**) qui définissent ses caractéristiques fondamentales et les recommandations de sa mise en œuvre.

L'exploitation contractuelle de la méthode est soumise à un ordre logique et chronologique établi dans un plan de travail en sept phases qui sont les suivantes :

- Orientation de l'action
- Recherche de l'information
- Analyse des fonctions et des coûts
- Recherche d'idées et voies de solutions
- Etude et évaluation des solutions
- Bilan prévisionnel et proposition de choix
- Suivi de la réalisation

La démarche est progressive et prend en compte les résultats issus de la phase amant, et chaque phase peut être remise en cause par celles qui la suivent.

La méthode est considérée comme appliquée dans une entreprise qui conçoit, fabrique et distribue le produit.

Elle repose par ailleurs sur un groupe de travail pluridisciplinaire qui constitue la structure opérationnelle de l'action d'analyse de la valeur, ce groupe est animé par un chef de projet [8].

3. 1. Orientation de l'action (Phase 1)

Cette phase a pour but de définir les objectifs poursuivis dans le cadre de la démarche d'analyse de la valeur.

L'objectif de cette phase est d'aboutir à une compréhension et formalisation de la problématique à résoudre. Elle doit permettre de savoir s'il est intéressant de répondre à la demande, et dans l'affirmative, de construire la structure projet qui va supporter la conception de la réponse.

Cette phase consiste à déterminer :

- **L'objet de l'étude :** En spécifiant les causes qui ont déclenché cette étude.
- **Les motifs de l'étude :** Il précisera les éléments d'insatisfaction et de satisfaction du produit ou service existant et les principaux éléments du contexte concerné.
Il définira aussi les grandes lignes concernant les résultats attendus.

- **Le périmètre et les acteurs concernés :**

Délimitation du champ de l'action, définition du degré de nouveauté admis ou recherché, ainsi que l'examen de la constitution du groupe.

- **Les moyens alloués à l'étude :**

Budget et délais accordés pour l'action considérée (action proprement dite, développements complémentaires, mise en place de moyens – industriels ou autres – nécessaires).

Cette phase consiste aussi à structurer :

- Le mode d'organisation
- Les risques associés à l'étude
- Le plan de communication pour un bon déroulement des différentes étapes de l'analyse.

Ces renseignements feront l'objet d'un document diffusé aux personnes concernées

- **Le groupe de travail :**

Si l'on veut remédier aux insuffisances ou aux inutilités d'un produit ou encore en diminuer les coûts (problèmes dont la résolution constitue les objectifs de l'analyse de la valeur) il faut bien les connaître et savoir leurs origines et qui les possède, d'où la nécessité de former un groupe pluridisciplinaire (bureau d'étude, service achat, fabrication et service d'entretien...) qui exprimeront leurs souhaits et leurs insatisfactions, puis porteront chacun ces solutions.

L'organisation de ce groupe consiste à réunir tous les participants en une équipe de travail, cela offre l'avantage de créer des échanges directs d'information entre partenaires.

Les membres du groupe sont choisis d'après leurs compétences mais aussi d'après leurs motivations et leurs complémentarités, avec un minimum de règles du jeu qui doivent être clarifiées, notamment l'esprit constructif et positif ainsi que l'interdépendance.

3.2. Recherche de l'information (phase 2)

Cette phase a pour but de rassembler et de formaliser les données internes et externes relatives à l'objet de l'étude et à son environnement. Cela correspond à un état des lieux du domaine étudié.

Toutes les informations (techniques, industrielles, sociales, commerciales, réglementaires, ...) liées au besoin, aux produits concurrents, la conception, la fabrication et la distribution du produit doivent être rassemblées [9].

Il s'agit de définir principalement :

- le besoin
- le marché visé
- la concurrence
- les avantages et inconvénients du produit actuel et des produits concurrents
 - l'historique du produit
 - les différents coûts relatifs
 - les contraintes (normes, réglementations ...)
 - les insatisfactions des clients...

Cette phase peut être plus au moins riche donc longue, suivant le côté innovant du produit ou service à étudier dans l'entreprise, mais aussi suivant le passé technologique de l'entreprise sur des produits similaires.

3.3. Analyse des fonctions et des coûts (Phase3)

L'analyse fonctionnelle est la pierre angulaire de la méthode analyse de la valeur, c'est d'elle que dépend au final la qualité du produit.

L'objectif de cette phase est de chercher les fonctions principales et secondaires qui satisferont les besoins, puis à les traduire en fonctions techniques.

Ces différentes fonctions sont formalisées au sein du cahier des charges fonctionnelles (CDCF).

3.3.1 Termes relatifs aux fonctions

a. Fonctions

Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimé exclusivement en terme de finalité.

Une fonction est formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un complément par exemple un balai a pour fonction « déplacer (verbe à l'infinitif) la poussière complément) ».

b. Coût de fonction

Ensemble de la dépense prévue ou réalisée pour incorporer une fonction dans un sujet (av). Avant la conception ou la préconception, le coût de fonction est un objectif ou une limite, c'est la dépense qui est allouée pour l'incorporation de cette fonction.

Après le développement ou la mise en œuvre, le coût de fonction est le coût qui a été effectivement supporté.

3.3.2 Types de fonctions**a) fonction de service**

Action demandée à un produit ou réalisée par lui, afin de satisfaire une partie du besoin d'un utilisateur donné.

Les utilisateurs et le marché ne sont concernés que par les fonctions de service qui sont soit des fonctions d'usage soit des fonctions d'estime.

- Fonctions d'usage : qui traduisent la partie rationnelle du besoin

- Fonctions d'estime : qui traduisent la partie subjective du besoin.

b) fonction technique

Action d'un constituant ou action entre constituants du produit qui intervient pour assurer les fonctions techniques.

Ces fonctions répondent à la seule exigence de l'aspect technique (exemple dans un ordinateur le ventilateur a pour fonction de refroidir les circuits électroniques mais n'assure aucune fonction pour l'utilisateur).

3.3.3 Démarche méthodique de la phase

La démarche de l'analyse fonctionnelle consiste à :

- recenser les fonctions
- les caractériser
- les ordonnancer
- les valoriser
- les synthétiser en les formalisant dans le cahier des charges fonctionnel.

Nb : Cette étape produit un cahier des charges fonctionnel validé par le commanditaire, ce dernier fait le bilan des analyses fonctionnelles et des coûts en faisant apparaître le compromis fonctions/coûts à satisfaire [10].

- **Recenser les fonctions**

Trois outils permettent de recenser les fonctions :

- la méthode intuitive
- l'étude d'environnement
- l'analyse séquentielle

a) La méthode intuitive

Il s'agit de s'appuyer sur l'intuition ou encore de motiver l'imagination pour éventuellement définir les fonctions principales et secondaires qui doivent être assurées par un produit. Si on prend l'exemple d'un stylo, on se pose la question « à quoi sert un stylo ? » à écrire bien sûr, nous cherchons à exprimer cela sous forme d'une fonction, c'est à dire par un verbe suivi d'un complément : 'tracer un trait' il doit aussi 's'accrocher à la poche' ce sont là deux fonctions de services, la première est principale pour laquelle le produit a été créé. La seconde est une fonction complémentaire [11].

b) L'étude d'environnement

Un produit n'est jamais indépendant de son environnement, dans la plupart des cas, le produit doit s'adapter à son environnement, c'est à dire satisfaire certaines fonctions par rapport à cet environnement.

Il importe par ailleurs d'identifier dans quelles circonstances le produit peut être utilisé : circonstances habituelles, occasionnelles ou exceptionnelles.

Les conditions habituelles et occasionnelles doivent systématiquement être prises en considération. En ce qui concerne les conditions exceptionnelles, il est nécessaire d'évaluer leurs conséquences possibles et leurs gravités si les fonctions ne sont pas remplies.

Afin de réaliser une étude d'environnement, il importe de distinguer les quatre familles suivantes :

- Les personnes :

Elles peuvent être celles qui utilisent le produit, mais il peut s'agir de personnes dont la présence est occasionnelle. Par exemple, l'acheteur du produit peut ne pas être l'utilisateur et pourtant des fonctions sont à satisfaire vis-à-vis des deux.

- Les éléments physiques :

Ils sont nombreux comme le sol, les murs et les objets environnants...etc.

- Les éléments immatériels :

Il peut s'agir de règlements, de normes ou de directives.

- L'ambiance :

Elle peut regrouper des éléments tels que les températures, l'hygrométrie, les intempéries, le bruit ou les poussières etc.

b.1 Méthode d'inventaire systématique du milieu environnant le produit

Elle consiste à :

- Rechercher les conditions d'adaptation du produit par rapport à une des familles et de ses composantes et réciproquement.
- Rechercher les conditions d'interaction entre une composante d'une famille de produit et une autre composante (de la même famille ou d'une autre famille).

- Matérialiser ces conditions à l'aide des graphes d'associations ou « graphes d'association » qui sont constitués par l'ensemble des éléments du milieu environnant, et qui sont en relation avec le produit pendant son cycle de vie.

Ces graphes représentent le produit au centre et les différentes composantes de l'environnement à la périphérie. Les différents milieux extérieurs conduisent donc à identifier de nombreuses fonctions.

Chaque association d'un objet d'étude, avec un ou deux milieux, donne une fonction possible que le groupe retiendra ou non.

Une fonction est retenue si l'on s'engage à rechercher des solutions afférentes, donc à y mettre les moyens financiers associés.

b.2 Recensement des fonctions de service

Chaque relation entre le produit et une ou plusieurs composantes du milieu environnant détermine une fonction de service qui sera classée selon l'objet de l'analyse fonctionnelle :

- soit par leur nature.
- soit par leur importance.

- Classification par nature

Les fonctions de service peuvent correspondre à des fonctions d'estime ou à des fonctions d'usage. Par exemple, pour une paire de lunettes :

Une fonction d'usage est : « corriger la vue de l'utilisateur ».

Une fonction d'estime est : « plaire à l'utilisateur ».

- Classification par importance

Les fonctions peuvent aussi être hiérarchisées en fonctions principales et en fonctions complémentaires.

- Fonctions principales : Ce sont les fonctions qui justifient la création du produit.
- Fonctions complémentaires : Toutes les fonctions autres que les fonctions principales.

Remarque : Une fonction complémentaire adapte le produit à la composante considérée du milieu environnant.

c) Analyse séquentielle

Elle consiste à examiner toutes les étapes de la vie d'un produit avant, pendant et après utilisation. Elle complète la méthode précédente dans le sens où elle fait apparaître de nouveaux éléments qui ont été oubliés antérieurement. Ainsi donc, pour chaque étape de la vie du produit il est défini tout élément en contact avec le produit, ensuite la fonction qu'il doit satisfaire vis à vis de celui-ci.

- Caractériser les fonctions

Les différentes fonctions étant recensées, il s'agit maintenant de les caractériser. Pour chacune des fonctions de service, on définit un ou plusieurs critères d'appréciation affectés de niveaux et chacun de ces niveaux est assorti d'une flexibilité.

- Critères d'appréciation :

Critères retenus pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée.

Pour une même fonction, il y a souvent plusieurs critères d'appréciation de natures différentes. Dans la mesure du possible, ce critère doit être accompagné d'une échelle permettant de situer son niveau. Comme exemple de critères on peut citer la durabilité, la vitesse, le bruit de fonctionnement, interchangeabilité [12].

- Niveau d'un critère :

Le niveau d'un critère est généralement une valeur chiffrée pour les critères objectifs et une valeur pour les critères subjectifs. Il permet de représenter le poids de chaque fonction.

- Flexibilité :

La flexibilité est la tolérance par rapport à la valeur du niveau demandé.

On distingue quatre classes de flexibilité :

F_0 : flexibilité nulle, niveau impératif.

F_1 : flexibilité faible, niveau peu négociable.

F_2 : flexibilité bonne, niveau négociable.

F_3 : flexibilité forte, niveau très négociable.

Autrement dit, le demandeur spécifie tel niveau mais indique qu'il est prêt à le

modifier si cela arrange le concepteur – réalisateur et encore plus si ce dernier en échange, lui consent une réduction de prix.

- Recherche des fonctions techniques

La recherche des fonctions technique est justifiée par l'obligation de construire le produit. Lorsque le concepteur -réalisateur choisit une solution globale, il détermine les fonctions techniques parfois appelées fonctions internes.

Remarque :

Les fonctions techniques d'un produit ou d'un système complet peuvent être les fonctions de service d'un élément constituant entrant dans la composante de ce produit.

Pour la détermination de ces fonctions techniques nous allons nous baser sur le diagramme des flux.

- Diagramme des flux :

Le diagramme des flux est un graphe qui permet de montrer le cheminement des divers flux de matière, d'actions mécaniques et de mouvements liés aux fonctions, à travers des éléments constitutifs d'un produit.

L'étude de ces différents flux permet d'appréhender les fonctions techniques et d'apprécier le nombre de composants qui participent à chacune d'entre elles. D'une manière générale, le tracé d'un diagramme des flux pour un produit donné s'effectue en trois étapes :

- Disposer les éléments constitutifs du produit en relation de contact.
- Disposer les milieux extérieurs.
- Tracer les différents flux.

Flux ouverts : Relation entre les milieux extérieurs et les différents éléments composants.

Flux bouclés :

Internes : ne concernent que les éléments du produit.

Externes : relation entre quelques éléments et un ou plusieurs milieux extérieurs.

Ainsi en reprenant les différents flux, nous pouvons exprimer les fonctions techniques et les fonctions de service auxquelles elles aboutissent.

- **Ordonnement des fonctions**

L'expression fonctionnelle du besoin a permis de déterminer les fonctions de service ainsi que les fonctions techniques que doit assurer le produit étudié.

- **Hiérarchiser les fonctions**

Lorsque des difficultés apparaissent pour obtenir le consensus du groupe sur le choix des coefficients à affecter aux fonctions, une hiérarchisation des fonctions s'impose.

Deux outils permettent de hiérarchiser les fonctions :

- L'échelle de hiérarchisation des fonctions.
- La méthode du tri croisé.

- **Valoriser les fonctions**

Il s'agit de présenter de manière synthétique les résultats de l'analyse fonctionnelle (fonction, coût et valeur) en transférant les coûts de revient des tâches sur les fonctions de services associés.

Le principe est de dresser un tableau sur lequel on doit :

- Lister les fonctions du produit en abscisse.
- Lister les composantes du produit en ordonnée.
- Calculer le coût des composantes et le répartir sur les fonctions afin d'avoir le coût de chaque fonction. Cette répartition, d'abord en pourcentage puis en valeur réelle, se fait en proportion du rôle que joue chaque composante dans chaque fonction.

- **Synthétiser les fonctions**

Il s'agit de caractériser et valoriser les fonctions à travers un tableau récapitulatif à partir duquel le cahier des charges fonctionnel est réalisé.

3.4. Recherche d'idées et de voies de solutions (phase 4)

Il s'agit d'une étape difficile, qui souvent monopolise d'autres personnes que les membres du groupe de travail. On fait appel à un ergonomiste, un designer.... et on envisage la faisabilité des éléments des solutions abordées.

L'objectif de cette étape est de trouver le plus grand nombre d'idées ou solutions pour chaque fonction à satisfaire. Pour ce faire on doit se reporter à la démarche des trois premières phases de la méthode "créativité" :

- Formulation du problème,
- Elimination des premières solutions,
- Divergence.

Cette étape nécessite une réelle dynamique de groupe et le respect des attitudes suivantes :

- **L'écoute** : acceptation de l'autre et de ses idées (pas de critique et d'autocensure type : ça existe déjà, on l'a déjà fait, je vais peut être dire une bêtise....).
- **La spontanéité de l'expression** : rien de ce qui est évoqué ne l'est par hasard ; aussi se doit-on de tout exprimer, aussi éloigné que cela puisse paraître de la problématique.
- **L'association** : tout stimulé évoqué par un membre du groupe suscite chez les autres des évocations associatives.

3.5. Etudes et évaluations des solutions (phase 5)

Les nombreuses idées qui sont apparues lors de la phase précédente vont amener à choisir une ou souvent plusieurs solutions qui seront esquissées pour faire ensuite l'objet d'un choix définitif. Comme nous l'avons déjà évoqué, on tiendra compte, dès l'esquisse d'une solution, de l'ordre de grandeur de son coût, des risques qu'elle présente, de sa faisabilité.

Démarche méthodologique de l'étape

Ce travail est réalisé en groupe et consiste à :

- Rechercher des solutions qui répondent le mieux aux critères et objectifs de l'action.
- Vérifier la faisabilité de chacune des solutions.
- Evaluer la performance des solutions retenues.

3.6. Bilan prévisionnel (phase 6)

C'est une étape importante où l'animateur et les membres du groupe de travail constituent un dossier argumenté à présenter au décideur, porteur du projet.

La démarche à suivre pour cette étape est :

1. Regroupement des solutions retenues et élaboration d'un bilan prévisionnel intégrant :
 - les critères de sélection retenus,
 - Les niveaux atteints ou estimés par chacune des solutions au regard des besoins exprimés par le demandeur dans le cahier des charges fonctionnel.
 - Le chiffrage précis des coûts de chacune des solutions.
 - La liste détaillée des avantages et inconvénients de chaque solution.
 - Les conditions d'application.
2. Présentation au commanditaire.
3. Sélection d'une solution par le commanditaire.

Le produit de cette étape est une décision du commanditaire.

3.7. Suivi de réalisation (phase 7)

Cette phase est souvent négligée car on arrive au terme du projet, le produit est commercialisé ou presque. Les membres du groupe de travail ne sont plus mobilisés et l'animateur, s'il est externe à l'entreprise, n'est plus présent[13].

Cette phase est pourtant un moment privilégié pour s'assurer que :

- Les décisions sont suivies d'effets, au niveau de la réalisation du produit.
- Les impacts prévus sont auprès des différents services sont réels.

Cette phase est donc décisive pour la pérennité de la démarche d'analyse de la valeur dans une entreprise. Un bilan bien réalisé permettra de passer d'une opération coup de poing en analyse de la valeur, à un véritable management par la valeur.

La mise en œuvre et l'ajustement de la solution retenue nécessite la démarche suivante :

- Mise en place de la solution retenue sous la responsabilité des services opérationnels.
- Mise en place des moyens de contrôle adaptés au suivi
- Identification des écarts entre la réalisation et la prévision
- Ajustement et reprise éventuelle de l'étude
- Bilan final

4. Avantages et inconvénients de l'analyse de la valeur

4.1. Avantages

L'analyse de la valeur :

- Permet d'améliorer une situation existante mais aussi de concevoir un nouveau produit.
- Constitue une approche transversale.
- Fournit une aide efficace à l'entreprise pour :
 - Optimiser ses compétences et ses ressources,
 - Adapter sa stratégie industrielle et commerciale aux exigences concurrentielles de son marché,
- Améliorer la qualité d'un "produit" sans en augmenter le coût ou d'en diminuer le coût sans réduire le niveau des services rendus.

4.2. Inconvénients

- Méthode très analytique, assez lourde à mettre en œuvre
- Nécessite une forte implication des acteurs
- Nécessite une parfaite maîtrise de la part de l'animateur.

5. Conclusion

En conclusion, on peut avancer que l'analyse de la valeur est un ensemble de méthodes d'analyse fonctionnelle, d'étude et d'industrialisation applicable aux produits, aux services et autres moyens que nous créons, qui par son approche systématique et organisée, vise à leur faire remplir au moindre coût les fonctions réellement nécessaires à la satisfaction des besoins ou désirs pour lesquels ils sont créés.

L'analyse de la valeur a pris un essor particulier dans les organisations, les P.M.E. avec les approches allégées. Tout un courant et une problématique se sont dégagés au niveau de la recherche sur des disciplines valeurs.

Cette approche a eu pour objectif de mettre en place des concepts et méthodologie nouvelle à travers des colloques et des manifestations.

Chapitre III

Conception de la scie diamantée instrumentée

1. Introduction

La scie diamantée est un dispositif mécanique permettant de couper des échantillons de matériaux, différents en nature et en dimensions. A titre d'exemples, une scie diamantée de laboratoire sert beaucoup plus à découper des aciers et autres alliages métalliques ainsi que les céramiques. Les échantillons ainsi découpés sont souvent destinés à des essais de caractérisation physique, chimique et mécanique. Ces échantillons doivent, de ce fait, être découpés de manière à ne pas affecter les propriétés visées. A titre d'exemple, la découpe d'un échantillon d'acier nécessite l'usage d'une scie en matériau plus dur que l'acier – condition nécessaire pour la coupe- et un refroidissement continu de la zone de découpe pour éviter que les échauffements locaux n'affectent les propriétés du matériau. Les échantillons à découper feront l'objet d'essais de caractérisations mécaniques et physico-chimique en tout genre, donc une bonne précision sur leurs dimensions est nécessaire. La scie en question comme son nom l'indique sera dotée d'un disque diamanté ou non. Ces types d'outil sont utiles pour la coupe d'une palette assez large de matériaux à condition de choisir le type de disque et la vitesse de coupe optimale pour chaque matériau. Notre travail est d'apporter des améliorations sur une scie déjà existante afin qu'elle soit en mesure de répondre aux exigences de performance et de sécurité.

2. Cahier de charge

Notre travail s'inscrit dans la démarche d'une conception adaptative, afin de répondre aux exigences du client (laboratoire SDM du département GM de l'UMMTO). Dans ce cadre nous sommes tenues de répondre à un cahier de charge qui se présente comme suit :

2.1. Présentation général du problème

La scie en question est un dispositif relativement simple, elle dispose d'un moteur électrique (voltage 280 V, fréquence 50 Mhz, puissance 1.2 kw, vitesse de rotation 1430tr/min). La rotation est transmise à l'aide d'une courroie trapézoïdale vers une rangée de

trois poulies qui permettent d'obtenir différentes vitesses de rotation du disque coupant. Ces poulies sont fixées sur un arbre supporté par deux paliers. Sur les deux extrémités de l'arbre, les deux outils de coupe sont fixés, respectivement un disque diamanté et une meule circulaire. La figure III.1 montre une vue générale (en perspective) de la scie tandis que les figures III.2 et III.3 montrent des vues avec davantage de détails.

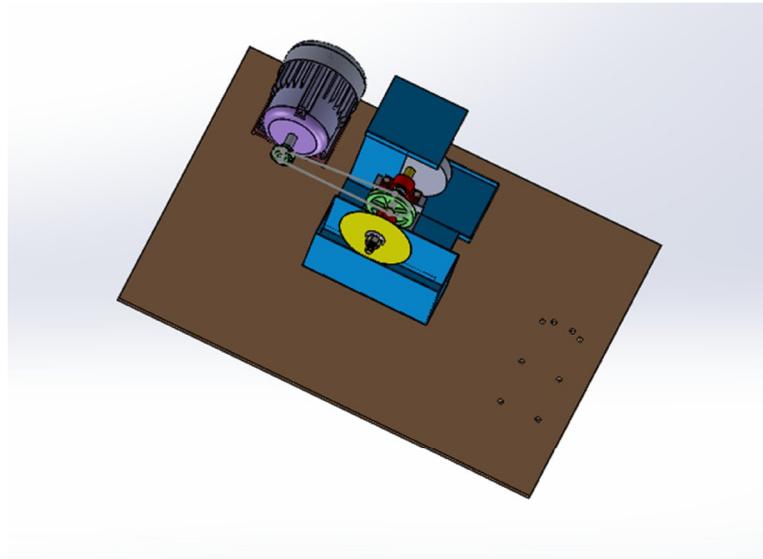


Figure III.1 : vue en perspective de la scie diamantée

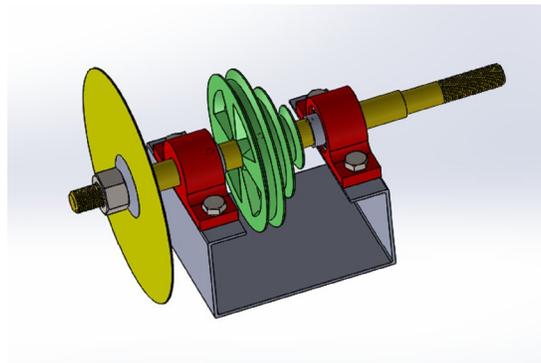


Figure III.2 : vue en perspective du dispositif de coupe

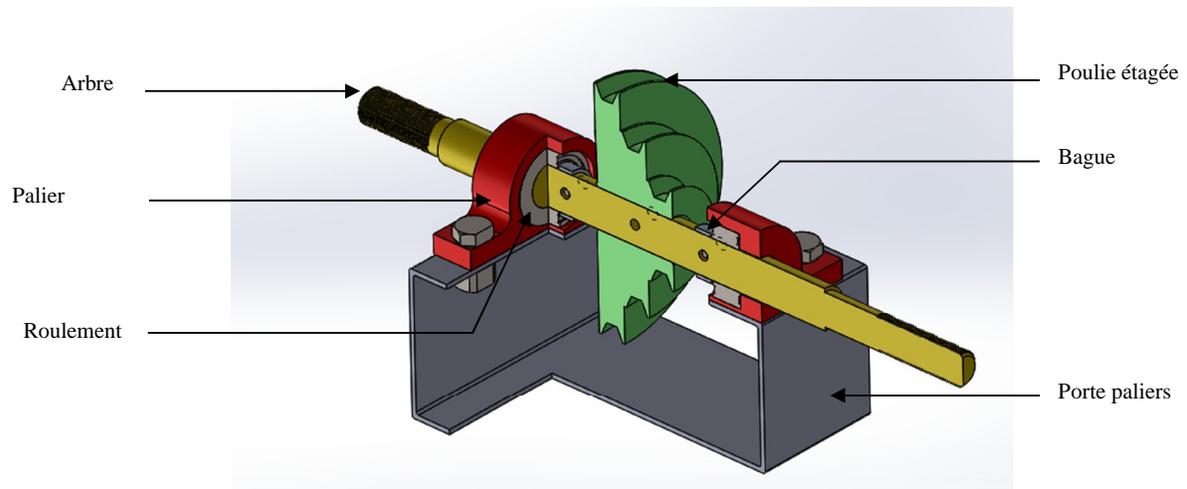


Figure III.3 : vue en coupe du dispositif de coupe

Lors de l'utilisation de cette machine nous faisons face aux difficultés suivantes :

- Il est très difficile d'obtenir des échantillons répondants aux dimensions souhaitées.
- L'opérateur qui exploite la machine est exposé à des dangers éminents (projection de copeaux, collision avec le disque diamanté...etc). Même avec un équipement de protections tel que des lunettes en plexiglas est des gants, le danger reste réel.
- Elévation de température importante lors de la coupe, qui nous oblige à suspendre continuellement les opérations de coupe, afin de permettre le refroidissement du disque et de l'échantillon notamment les moins réfractaires tel que le plomb.
- Les bords des échantillons coupés présente des bavures.
- Pour passer d'un rapport de vitesse à un autre nous devant arrêter la machine et modifier la position du moteur pour garder la courroie tendue. Ce qui ralenti considérablement le travail.
- La quantité de copeau importante qui se dégage altère le fonctionnement du dispositif de coupe en se déposant sur les différents composants.

2.2. Objectif à atteindre :

Nous aurons pour mission l'amélioration de la machine en termes de qualité de coupe, précision sur les dimensions des échantillons, confort et conditions de sécurité pour l'opérateur, et gain de temps sur les phases de coupe.

2.3. Expression fonctionnelle du besoin :

- Amélioration de la qualité de coupe ; il doit être droite et contenant moins de bavure.
- Diminuer la projection du coupeau.
- Offrir plus de précision sur les dimensions des échantillons (la longueur de l'échantillon doit être respectée).
- Réaliser les coupes de manière continue et sans interruption.
- Augmenter la durée de vie du disque diamanté.
- Le temps alloué aux opérations de coupe doit être diminué.
- Eviter au maximum l'intervention humaine.
- Surélever la machine pour faciliter son exploitation.

2.4. Le cadre de réponse :

Dans le but de répondre fonctions exigées un cadre de réponse est fixé, dont les détail sont illustrés par le tableau suivant

Tableau III.1 : le cadre de réponse

Objectifs visés	Fonctions	Cadre de réponse
Qualité de coupe	Elimination des bavures Droiture de coupe	Refroidir continuellement la zone de coupe
Précision sur la longueur des échantillons		Effectuer la couper par l'aide d'un support mécanique
Gain en terme de temps de coupe et de durée de vie du disque	-Changer les vitesses sans changement de position du moteur -Obtenir plus de rapport de vitesse	Equiper la machine d'un variateur de vitesse
Accessibilité de la machine	Surélévation de la machine	Prévoir un support qui supportera l'ensemble des composants
Sécurité de l'opérateur	Diminution de l'intervention humaine	Prévoir un dispositif mécanique pour maintenir l'échantillon et pour l'approcher du disque afin qui soit coupé

2.5. Contrainte :

Les contraintes imposées aux solutions probables sont les suivantes :

Dimensions des brutes à couper :

Section : cylindrique ; cylindrique creuse (tubes) ; carrée ; rectangulaire.

Diamètre : les sections sont contenues dans un intervalle de diamètre « diamètre min= 6mm.

Diamètre max= 25mm. ».

Longueurs : longueur max= 100mm.

Dimensions des échantillons obtenus :

Longueurs : longueur min= 2mm.

3. Solutions adaptées

Pour ce faire, nous avons opté pour les solutions suivantes :

Concevoir un dispositif permettant de générer deux mouvements de l'échantillon par rapport au disque diamanté. Le premier mouvement est un mouvement de translation de l'échantillon suivant un axe parallèle à l'axe de l'arbre. Ce mouvement permet le réglage de l'épaisseur de l'échantillon à découper. Le deuxième mouvement est un mouvement vertical et permet de déplacer l'échantillon dans un plan perpendiculaire à l'axe de la scie. En d'autres termes, le premier mouvement permet de choisir la passe tandis que le deuxième est un mouvement d'avance.

Nous avons suggéré deux dispositifs fonctionnant pratiquement de manière similaire.

- 1- Le premier dispositif, représenté sur la figure III.4, consiste en un bras muni d'un porte échantillon à son extrémité. Au milieu de ce bras, un alésage est usiné pour permettre une liaison en rotation et en translation (sorte de glissière cylindrique). L'ensemble (représenté sur la figure III.4) sera fixé sur la base la scie.

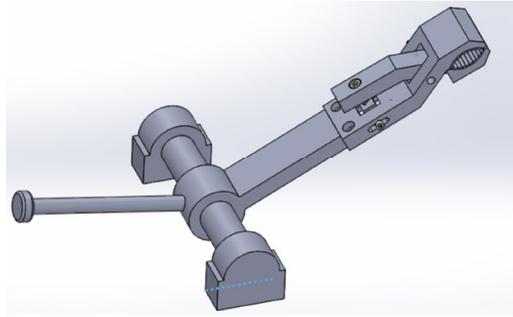


Figure III.4 : schéma du dispositif proposé

Tel qu'il est, ce dispositif ne peut fonctionner convenablement et la précision est altérée par l'intervention humaine. De ce fait, nous avons orienté notre choix vers un deuxième dispositif qu'on pourra faire fonctionner à l'aide de moteurs pas-à-pas.

2- Le deuxième dispositif choisi est un chariot qui permettra un déplacement transversal par rapport au disque diamanté. Le bras articulé sera fixé sur ce chariot afin d'obtenir le déplacement transversal de l'échantillon par déplacement du chariot. Le porte échantillon est solidaire avec le bras articulé et permet le déplacement vertical de l'échantillon par rapport au disque.

4. Conception des éléments de la scie

4.1. Le chariot :

Il aura comme principe de fonctionnement, le système de vis sans fin. Il sera composé d'une tige filetée guidée en rotation au niveau de ses deux bouts afin de permettre sa rotation autour de son axe (sans possibilité de déplacement transversal). Une pièce de forme trapézoïdale comprenant le taraudage correspondant sera insérée dans la tige filetée ; elle est à son tour disposée entre deux glissières pour obtenir une translation suivant un axe parallèle à celui de la vis. Ainsi la rotation de la tige filetée entraîne la translation de la base du porte échantillon. Les figures III.5 et III.6 montrent des vues en perspective du chariot assemblé.

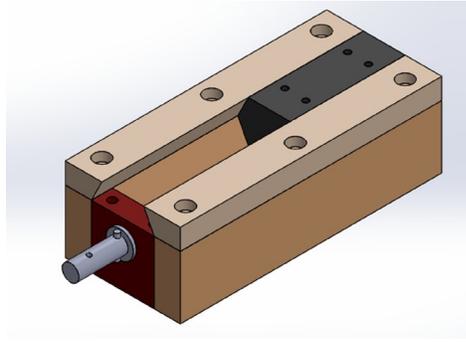


Figure III.5 : Vue assemblée du chariot

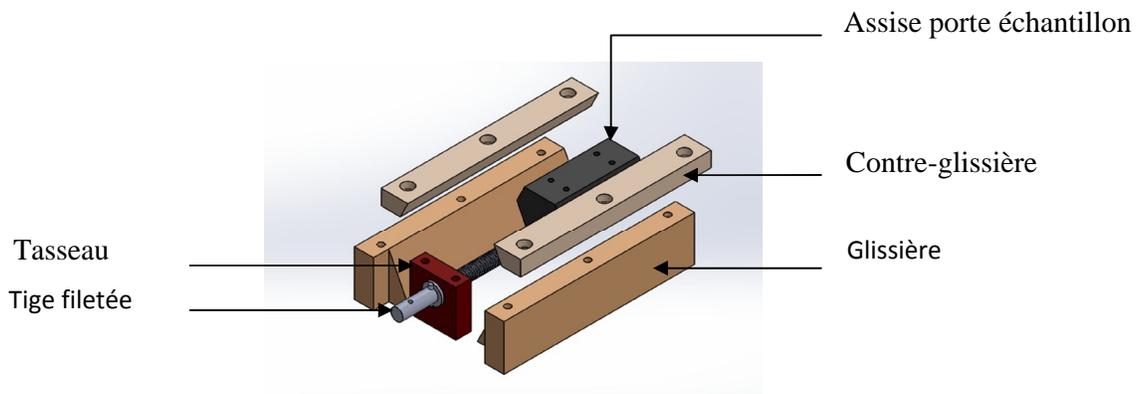


Figure III.6 : Vue éclatée du chariot

4.1.1. Assise porte échantillon

La forme choisie pour cette pièce est une forme de section trapézoïdale. Ce choix est justifié par la nécessité d'éliminer toute rotation et ne permettre que la translation suivant un seul axe. Elle servira de support sur lequel sera fixé le bras articulé. La figure III.7 montre une vue en perspective de l'assise porte échantillon.

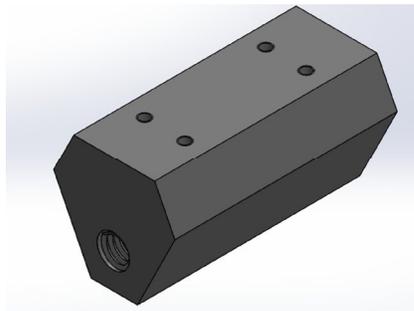


Figure III.7 : vue en perspective de l'assise porte échantillon

4.1.2. Les glissières

Ce sont les pièces qui serviront pour le guidage de l'assise porte échantillon. Leur forme doit épouser le périmètre de cette dernière afin de la contraindre au déplacement désiré. Toutefois, la forme complexe de ces glissières rendra l'usinage difficile. Nous avons préféré de les scinder en deux pièces chacune : glissière et contre glissière qui seront assemblées ensuite par boulons. Les figures III.8 et III.9 montrent des vues en perspective des glissières et des contre-glissières.

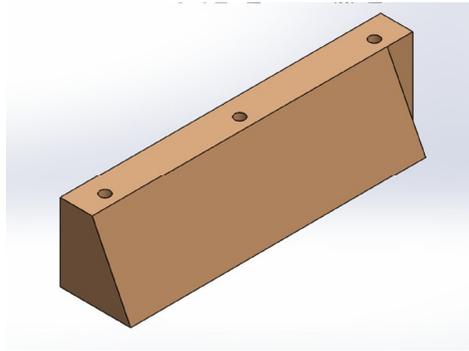


Figure III.8 : vue en perspective de la glissière

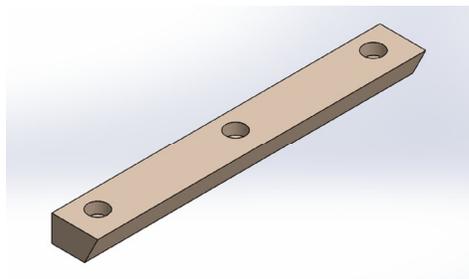


Figure III.9 : vue en perspective de la contre-glissière

4.1.3. Le tasseau

Cette pièce, de forme parallélépipédique, va servir d'appui pour les glissières. Un alésage au milieu de la pièce permettra le guidage de la tige filetée en rotation. La figure III.10 montre une vue en perspective de cette pièce.

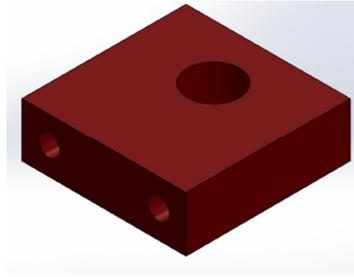


Figure III.10 : vue en perspective du tasseau.

4.1.4. La tige filetée

Cette pièce est filetée sur environ 70% de sa longueur avec un pas de filetage de (1mm), et contient un épaulement sur la partie lisse pour empêcher la translation du côté du tasseau dans la direction de l'axe vers l'extérieur. Du côté extérieur, une rondelle bloquée par une goupille empêche la translation dans le sens opposé. La figure III.11 montre une vue en perspective de cette pièce.



Figure III.11 : Vue en perspective de la tige filetée

4.1.5. Contraintes :

Le système de fonctionnement du chariot le soumis à des frottements qui, à long terme, peuvent générer des modifications de l'état de surface des pièces. En effet, lorsque les surfaces frottent l'une contre l'autre, elles s'usent en perdant de la matière. Ce qui engendre un jeu entre elles et qui accentuera l'effet négatif des vibrations générées par les fluctuations des contraintes, à grande fréquence, entre le disque diamanté et l'échantillon à couper.

4.1.6. Solutions :

Pour pallier au problème d'usure par frottement, un choix judicieux du matériau à utiliser permet de réduire cet effet. Pour cela, nous avons choisi d'utiliser un matériau

résistant à l'usure et présentant à la fois une bonne ductilité et une tenue à l'oxydation et à la corrosion. Le coût du matériau étant un autre paramètre important, nous avons choisi dans la gamme des aciers. L'acier allié Z200 C12 constitue un bon compromis.

Composition chimique du Z200 C12 :

Carbone (C)	2,1 %
Chrome (Cr)	12 %
Tungstène (W)	0,70 %
(Mn)	0,30 %

Le tableau suivant présente les principales propriétés de l'acier choisi comparées à celles d'un acier ordinaire et celles d'un alliage d'aluminium.

Tableau III.2 : tableau comparatif des propriétés du Z200.

	Resistance à la rupture (Mpa)	résistance élastique (Mpa)	Module de <i>Young</i> (Gpa)	Densité	Allongement en %
Acier ordinaire	300/1100	200/900	210	7,85	> 17
aluminium	200/600	100/500	70	2,85	30
Z200	1100/1800	1000/1700	210	7,85	> 17

4.2. Le bras articulé

Il est composé de deux parties ; la première est fixée à l'assise porte échantillon, sur la deuxième partie on fixe le porte échantillon. La figure III. 12 présente une vue en perspective des éléments assemblés du bras articulé. Le déplacement relatif en rotation sur l'axe est assuré par engrenage. Un moteur pas-à-pas est fixé sur la première partie tandis que la deuxième partie décrit un mouvement de balayage angulaire suivant l'axe de rotation commun.

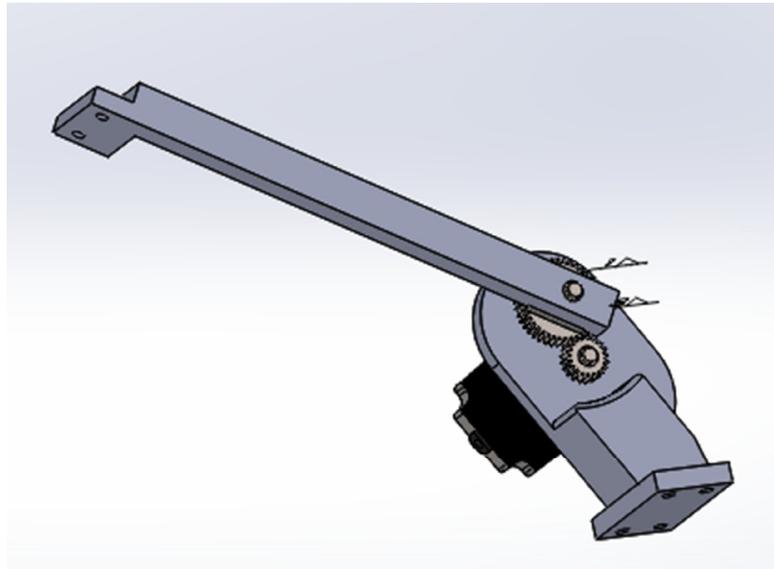


Figure III.12 : Vue du bras articulé assemblé

4.2.1. La partie fixe

Cette pièce est de forme relativement complexe. Pour la réaliser en un seul bloc, on doit procéder par assemblage de plusieurs pièces. Elle comporte une base percée qui servira à la fixer sur l'assise porte échantillon. Elle comprend une partie relativement massive afin de ramener son centre de gravité dans une position permettant une bonne stabilité. Une partie plane est également prévue pour la fixation du moteur pas à pas. La figure III.13 illustre une vue en perspective de la partie fixe du bras articulé tandis que la figure ...montre le dispositif porte-échantillon.

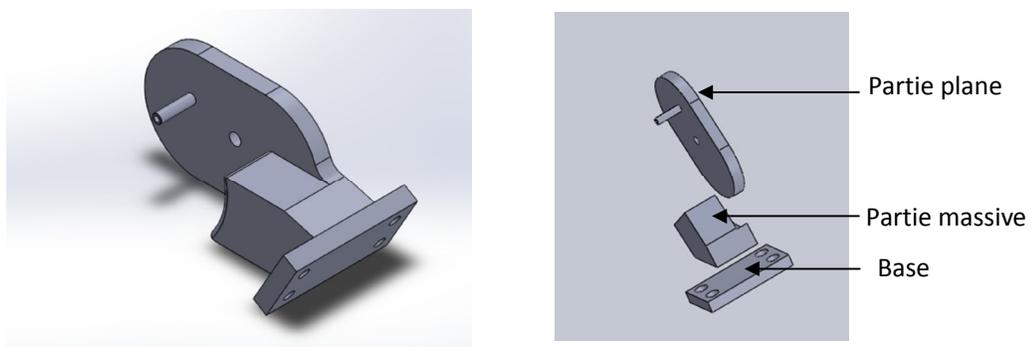


Figure III.13 : Vue en perspective de la partie fixe du bras articulé.

4.2.2. La partie mobile

Cette pièce est percée à une de ses extrémités pour permettre une liaison pivot avec la partie fixe du bras articulé. Sur l'autre extrémité, elle est percée de deux trous pour pouvoir fixer le porte-échantillon à l'aide de boulons. La figure III.14 montre une vue en perspective de la partie fixe du bras articulé.

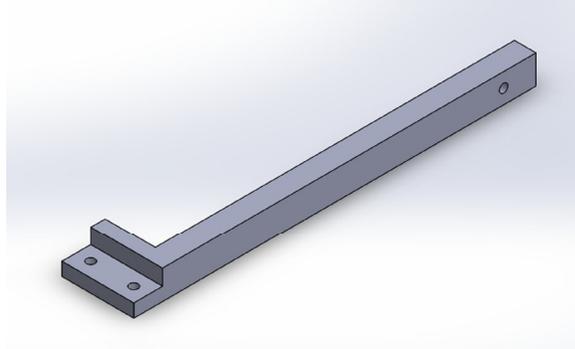


Figure III.14 : Vue en perspective de la partie mobile du bras articulé

4.2.3. Moteur pas-à-pas

Un moteur électrique de type pas-à-pas est choisi pour générer des déplacements à faibles vitesses de rotation et des déplacements angulaires précis.

Définition :

Le moteur pas à pas constitue un convertisseur électromécanique destiné à transformer le signal électrique en déplacement mécanique.

Au point de vue électrotechnique, le moteur classique ressemble à la machine synchrone, dont le stator porte les enroulements de pilotage et le rotor est soit muni d'aimants permanents, soit constitué par une pièce ferromagnétique dentée [14].

Le moteur pas à pas est actuellement le principal élément intermédiaire entre les dispositifs de traitement d'information et le monde électromécanique extérieur. Par ailleurs, ses capacités à contrôler la position et la vitesse, par un train d'impulsions de commande, assurent à ce convertisseur des applications comme

- La traction des robots mobiles,
- Le fonctionnement en moteur couple de grande puissance,
- L'indexage rotatif ou linéaire.

Avantages:

- Rotation constante pour chaque commande
- Existence de couple à l'arrêt.
- Contrôle de la position, de la vitesse et synchronisation de plusieurs moteurs.
- Moteur sans balais, donc pas d'usure et la durée de vie augmente.

Inconvénients:

- Plus difficile à faire fonctionner qu'un moteur à courant continu.
- Vitesse et couple relativement faible.
- Couple décroissant rapidement lorsque la vitesse augmente.
- Résonance mécanique.

Choix du moteur :

Il existe trois types de moteurs :

- Moteur à aimant permanent
- Moteur hybride
- Moteur à reluctance variable

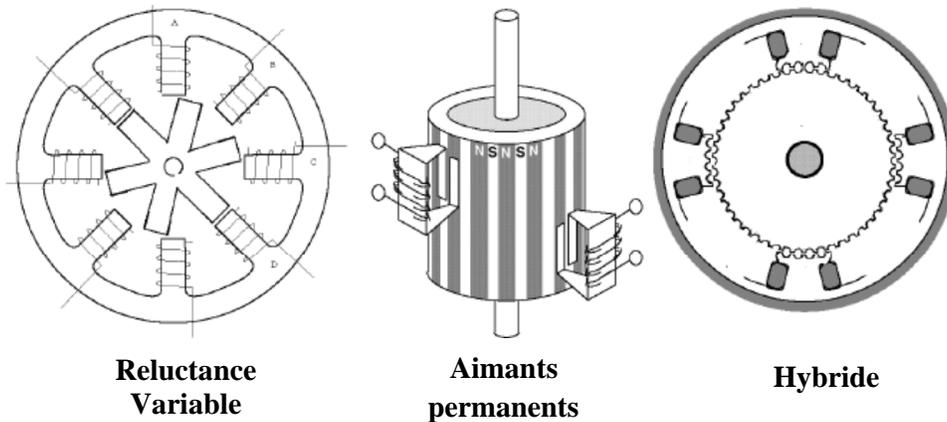


Figure III .15: Schéma des trois types de moteurs

Pour le bras articulé nous allons utiliser un moteur à réluctance variable car il offre les avantages suivants :

- Peu cher.
- Durée de vie accrue.
- Couple important à faible vitesse (jusqu'à 100 N.m sur les gammes moyennes).
- Précision sur les déplacements.

La commande de ce moteur est assurée au moyen d'une carte électronique de type **Arduino Uno**.

La carte Arduino : elle gère la fonction principale de la partie commande appelée CAN « Convertisseur Analogique Numérique ». Cette fonction a pour but de convertir les signaux analogiques en entrée (issus des joysticks) en signaux numériques. C'est cette carte qui permet de faire la liaison entre joysticks et servomoteurs [15].

Cette carte a pour cœur un microcontrôleur, ici un Atmega 328, qui lui intègre le programme qui gère la fonction CAN. Mais la fonction CAN n'est pas spécifique au microcontrôleur puisqu' elle est issue de la programmation que nous pouvons télécharger dans ce dernier. En plus de gérer cette fonction elle envoie et reçoit des signaux numériques ou analogiques dans plusieurs entrées et sorties (« ANALOG IN » et « DIGITAL », cf. photo carte). En conclusion cette carte électronique peut gérer beaucoup de fonctions (contrôle de LED, Digits, enceintes, écran, moteur, réseaux, ...). La figure III.16 nous montre un exemplaire d'une carte Arduino uno.



Figure III.16: Photo d'une carte Arduino uno

Programmation :

C'est un code qui va dicter des ordres au microcontrôleur, on la télécharge dans ce dernier pour qu'il puisse suivre les consignes dictées par le programme. Pour

ce faire on utilise un logiciel nommé Arduino qui peut vérifier et compiler plusieurs programmes, l'avantage est de pouvoir vérifier le programme édité avant de le compiler vers le microcontrôleur.

Ce programme est codé en langage C, c'est un langage de programmation impératif pour la carte. Son avantage est qu'il intègre des fonctions préinstallées dans une seule ligne de code grâce à des bibliothèques. Dans ce programme nous n'utilisons que la bibliothèque SERVO qui regroupe un grand nombre de sous fonctions en une seule ligne de code.

Programmation du moteur pas à pas :

En effet le programme doit permettre au moteur de :

- Tangenter l'échantillon : cette opération est effectuée par la rotation du moteur suivant un angle et une vitesse angulaire précise préalablement déterminées.
- Couper l'échantillon : pour ce faire le moteur appliquera un couple suffisant pour que le disque pénètre l'échantillon.
- Revenir à la position initiale : le moteur doit reculer d'un angle précis pour faire revenir le bras à la position de départ.

Déplacements angulaires générés par le moteur :

- α : déplacement à faible à moyenne vitesse et couple faible
- β : déplacement à très faible vitesse et couple important (jusqu'à 100 N.m) pour traverser l'échantillon
- ω : retour à la position initiale à moyenne vitesse.

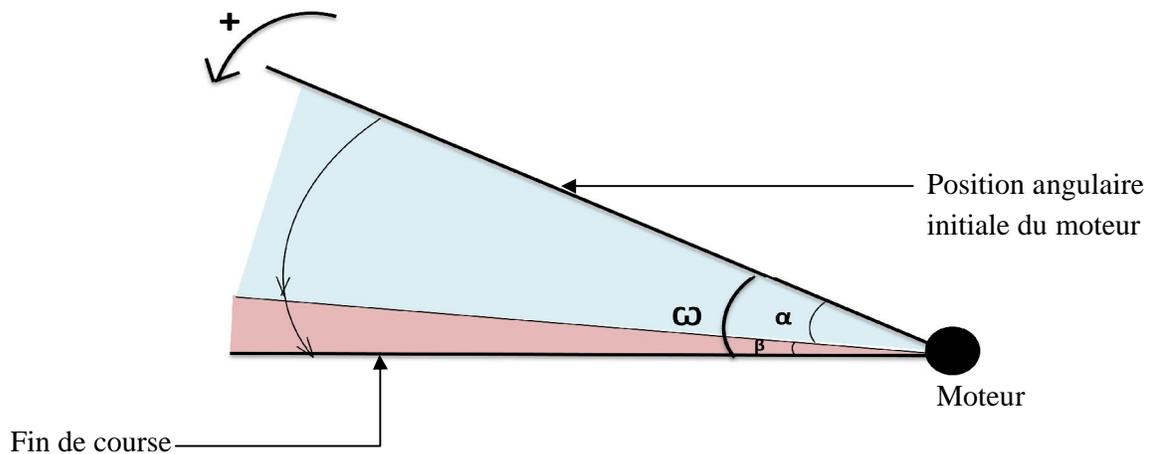


Figure III.17: Schéma des déplacements angulaire du moteur.

Exemple de programme arduino pour un bras articulé :

```
#include <Stepper.h>

const int stepsPerRevolution = 200; // change this to fit the number of steps per
revolution

// for your motor

// initialize the stepper library on pins 8 through 11:
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8, 9, 10, 11);

int stepCount = 0; // number of steps the motor has taken

void setup() {

  // nothing to do inside the setup

}

void loop() {

  // read the sensor value:

  int sensorReading = analogRead(A0);

  // map it to a range from 0 to 100:

  int motorSpeed = map(sensorReading, 0, 1023, 0, 100);

  // set the motor speed:
```

```
if (motorSpeed > 0) {  
    myStepper.setSpeed(motorSpeed);  
    // step 1/100 of a revolution:  
    myStepper.step(stepsPerRevolution / 100);  
}}
```

4.2.4. Roue dentée

La roue dentée est munie d'une denture droite au nombre de 50, elle sera fixée à la partie mobile du bras, par des cordons de soudure, nous obtiendrons ainsi un ensemble solidaire qui sera inséré dans la tige de la partie fixe du bras. La figure III.17 nous montre la roue dentée en perspective.

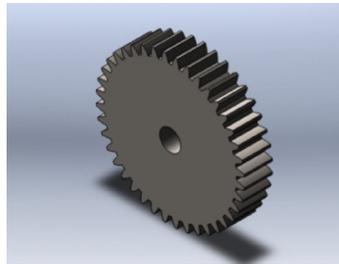


Figure III.18 : Vue en perspective de la roue dentée

4.2.5. Pignon

De même que la roue dentée il est munie d'une denture droite au nombre de 20, il sera fixé à l'arbre du moteur pas-à-pas, grâce à une clavette et un écrou, elle transmettra ainsi la rotation du moteur à l'ensemble partie mobile du bras-roue dentée. La figure III.18 montre le pignon en perspective.



Figure III.19 : Vue en perspective du pignon

4.3. Le porte échantillon

Il consiste à une pince composée de deux mors : un mors fixe qui est la continuité de la deuxième partie du bras articulé, un mors mobile qui s'ouvre et se renferme en pivotant sur une goupille qui traverse la partie fixe du mors. La forme creuse du mors est munie d'une sorte de dentition pour augmenter l'adhérence de l'échantillon lorsqu'on l'intercale entre les deux parties du mors, et on peut le fixer grâce à la visse de serrage comme illustré par la figure III.19 qui nous montre une vue assemblée du porte échantillon

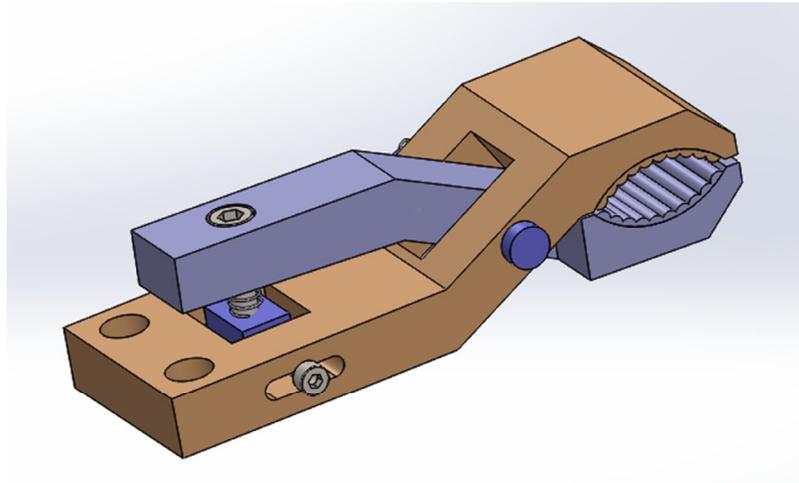


Figure III.20 : Vue assemblée du porte échantillon

4.3.1. Le mors fixe

Cette pièce contient une partie concave dotée d'une sorte de dentition et de deux chambrages, le premier est prévu pour incérer le mors mobile et le deuxième pour incérer l'écrou de serrage, un passage de goupille, deux rainures pour permettre à l'écrou de serrage de translater selon le degré d'ouverture du mors. Afin d'obtenir cette forme complexe nous devons d'abord forger la partie concave du mors puis obtenir les autres formes par enlèvement de matière. La figure III.20 montre une vue en perspective du mors fixe.

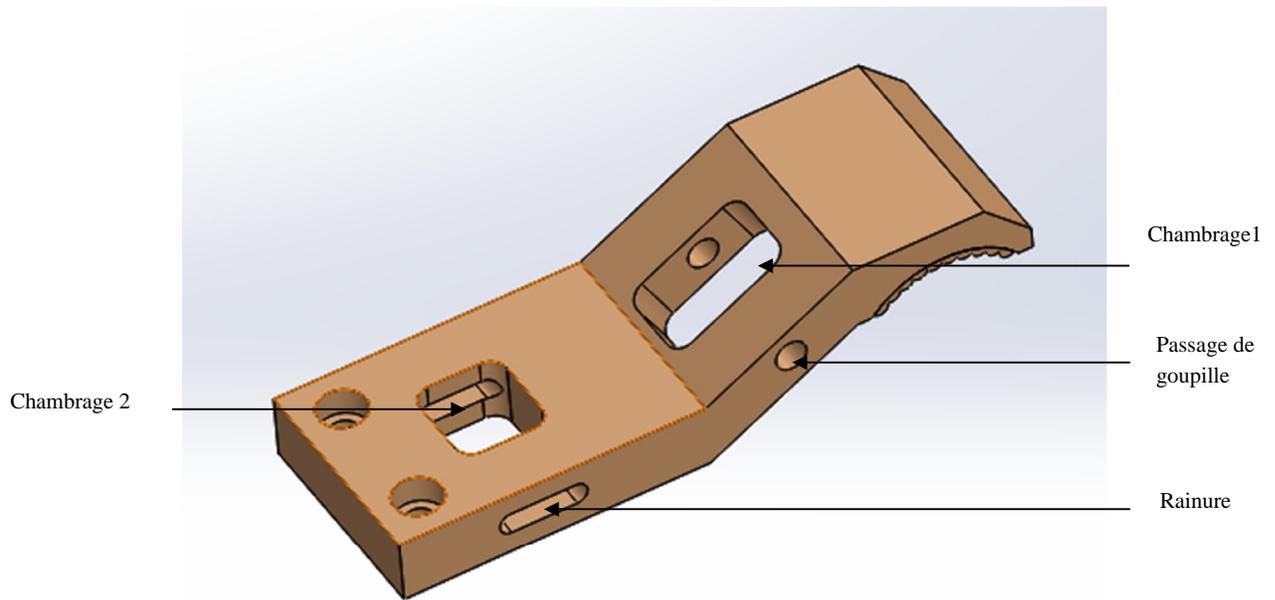


Figure III.21 : Vue en perspective du mors fixe

4.3.2. Le mors mobile

Tout comme le mors fixe, il est doté d'une partie concave dentée et muni d'un perçage qui servira de passage à la goupille qui remplira le rôle de liaison pivot entre le mors fixe et mobile. Le deuxième perçage servira de passage pour la visse de serrage. La figure III.21 montre une vue en perspective du mors fixe.

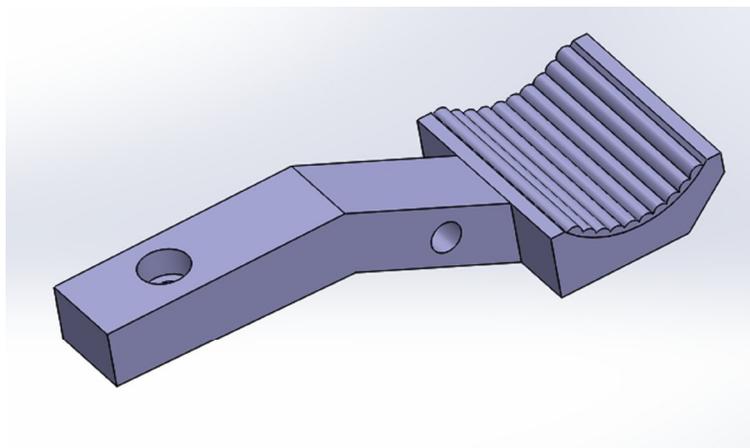


Figure III.22 : Vue en perspective du mors mobile

4.3.3. La goupille

De forme cylindrique, cette pièce permettra l'assemblage des deux mors, fixe et mobile, et permettra aussi au mors mobile de tourner sur le mors fixe. La figure III.22 montre une vue en perspective de la goupille.

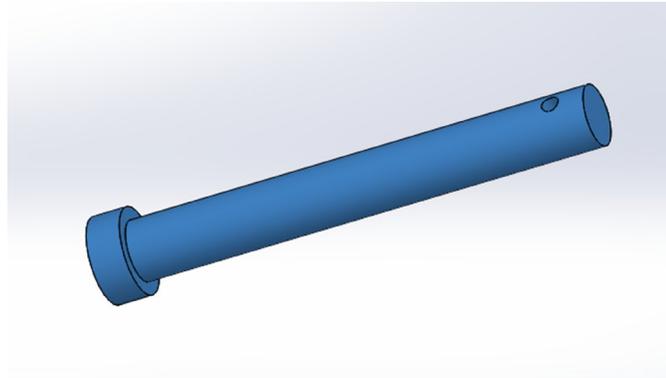


Figure III.23 : Vue en perspective de la goupille

4.3.4. Ecrou de serrage

Cette pièce est de forme parallélépipédique elle est munie d'un perçage centrale taraudé débouchant, dont lequel s'insère la vis de serrage, et de deux perçages latéraux non débouchant, dont lesquels seront incérées les tiges de guidages afin de permettre à l'écrou de serrage de translater à suivant les deux rainures. La figure III.23 montre une vue en perspective de l'écrou de serrage.

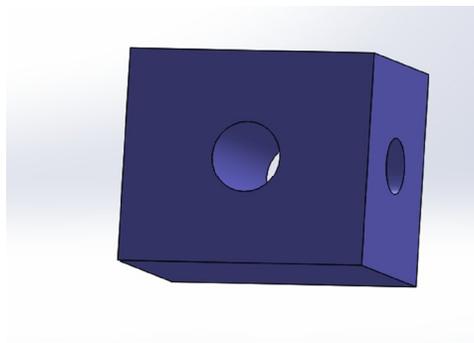


Figure III.24 : Vue en perspective de l'écrou de serrage

4.3.5. Ressort

Le ressort permettra l'ouverture des deux mors lorsque la vis de serrage est desserrée. La figure III.24 montre une vue en perspective du ressort.



Figure III.25 : Vue en perspective du ressort

5.4. La table

Pour que la scie soit stable et à une hauteur suffisante afin que l'opérateur puisse travailler dans de bonnes conditions nous avons prévu une table en acier car elle offre l'avantage d'être légère et peu encombrante. Dotée de pattes réglables en hauteur sur sa partie inférieure. Sur sa partie supérieure, des pièces en acier dont le rôle est d'encastrer la base de la scie seront fixées. Pour amortir les vibrations de la machine, de petites pièces en caoutchouc seront intercalées entre la base de la scie et les cornières d'encastrement.

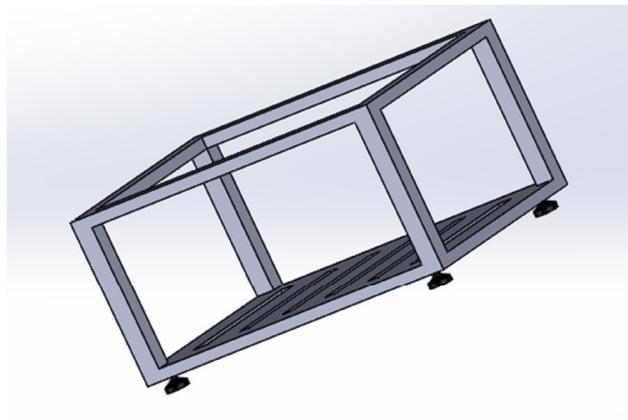


Figure III.26 : Vue en perspective de la table.

4.4.1. Cornière d'encastrement

Ces pièces de forme en L vont être fixées à l'aide de visse sur les extrémités de la table afin d'encastrer la base de la machine. Des joints en caoutchouc seront intercalés entre les cornières et la base de la machine pour diminuer les vibrations. Les figures III.26 et III.27, montrent une vue en perspective des cornières de fixation et des joints.

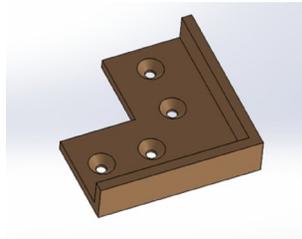


Figure III.27: Vue en perspective de la cornière d'encastrement

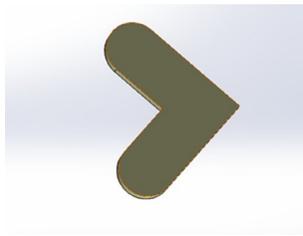


Figure III.28 : Vue en perspective du joint amortisseur

4.5. Lubrification

Il est connu que la coupe d'un matériau génère une augmentation de température très importante dans la zone de coupe, lors de l'enlèvement de matière par cisaillement, et cela peut entraîner une usure rapide de l'outil, ou dans des cas extrêmes, une rupture au niveau du disque.

Le copeau qui se dégage lors d'une opération de coupe par disques diamantés est de nature poussiéreuse. La projection d'un copeau en particules fines qui vont se déposer sur les composants de la scie, peut créer des dysfonctionnements, notamment sur les parties actives telles que la courroie, les poulies, les moteurs, les roulements ou encore chariot.

Comme solution aux problèmes cités précédemment, un système de lubrification s'impose. Le disque diamanté doit être arrosé de manière suffisante et continue pour pouvoir emprisonner les particules fines qui se dégagent et refroidir cette zone pour une coupe meilleure

Le choix d'un lubrifiant synthétique, comme celui utilisé sur les fraises et les tours est écarté, car la suspension de particule très fines rendra le recyclage du lubrifiant difficile et coûtera chère à l'utilisateur, d'autre part le lubrifiant synthétique risque de contaminer les échantillons qui sont destinés à différents essais mécanique et chimique.

Donc il est plus judicieux d'utiliser un arrosage continu par de l'eau douce.

Le circuit sera composé d'une vanne d'arrêt fixé par des vis sur l'un des pieds de la table, alimentée par les conduits de l'enceinte (laboratoire, atelier, etc.). Un flexible d'un faible diamètre partira de la vanne jusqu'à la partie inférieure du disque diamanté qui se situe sous la zone de coupe qui est protégée par la fermeture supérieur du bac pour éviter la projection du lubrifiant, qui est ensuite collecté dans un grand réservoir un grand réservoir, ou les particules en suspension vont se déposer lentement puis une pompe à eau munie d'un filtre va réinjecter l'eau dans le circuit de lubrification.

4.5.1. Vanne d'arrêt

Cette vanne nous permettra d'envoyer le lubrifiant avec le débit souhaité sur le disque, et de l'arrêter quand la coupe est terminée.

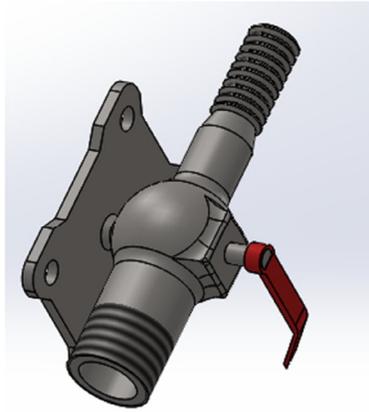


Figure III.29 : vue en perspective de la vanne d'arrêt.

4.5.2. Tuyauterie

Un tube en cuivre de diamètre 12mm dont la forme est obtenue par ceintrage sera fixé à la vanne d'arrêt par un écrou et un joint. La figure III.30 montre une vue en perspective de la tuyauterie.



Figure III.30 : vue en perspective de la tuyauterie.

4.5.3. Le réservoir

Comme montré sur la figure III.31 qui illustre une vue en perspective du réservoir, ce dernier est un grand récipient en aluminium munie d'ailettes sur sa partie inférieurs il est divisé en deux compartiment, le premier et le plus grand va collecter

le lubrifiant et permettra aux particules en suspension de se déposer, le deuxième compartiment est doté d'un système de pompage qui réinjectera l'eau dans le circuit de lubrification et d'un orifice pour évacuer le trop plein d'eau vers l'extérieur de la machine.

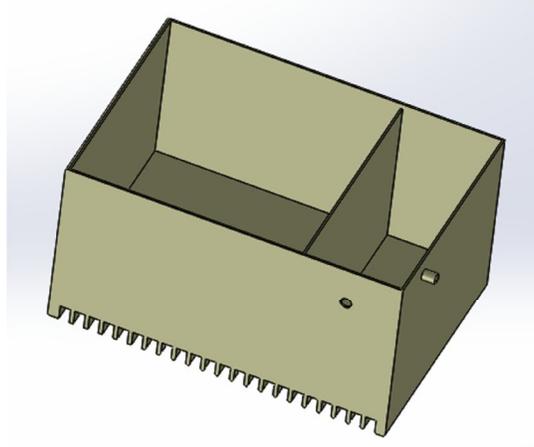


Figure III.31 : Vue en perspective du réservoir.

La figure III.32 montre le montage et la disposition de la pompe sur le réservoir

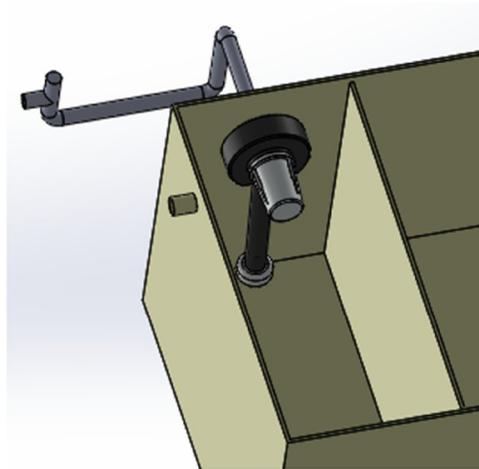


Figure III.32 : Vue en perspective du montage de la pompe sur le réservoir

4.5.4. Montage du système de lubrification

La figure III.33 montre le montage de la vanne d'arrêt et de la tuyauterie qui achemine le lubrifiant jusque au disque coupant.

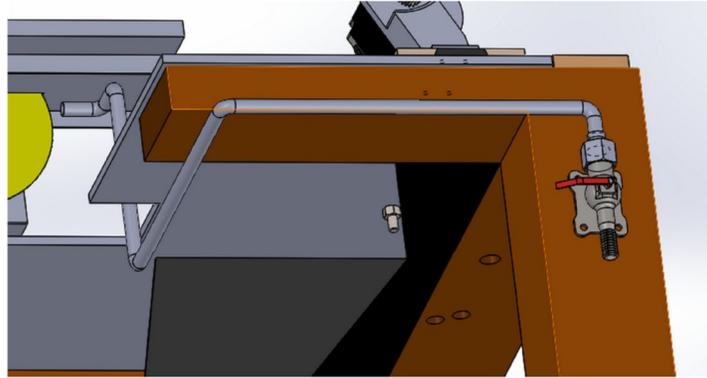


Figure III.33 : Vue en coupe montrant le circuit de lubrification.

Le réservoir est placé sur la partie inférieure de la table pour pouvoir collecter tous le lubrifiant projeté sur le disque.

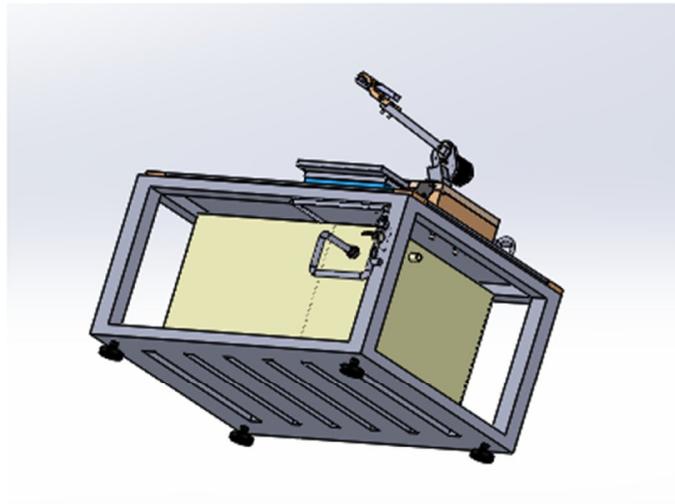


Figure III.34 : Vue en perspective montrant le montage du réservoir.

4.6. Variateur de vitesse

Initialement la machine est dotée d'une rangée de trois poulies pour faire varier la vitesse de coupe, mais cette opération nécessite la présence d'un tendeur de courroie ce qui risque d'encombrer la machine et le changement de rapport de vitesse par un tel dispositif sera très lente.

Donc pour résoudre le problème des vitesses de coupe nous allons doter le moteur de la scie d'un variateur de vitesse et ainsi nous allons obtenir une palette de vitesse plus importante, ce qui nous permettra de couper des matériaux différents avec le même disque.

Dans le tableau III.2 sont illustrées les différentes vitesses et à quels matériaux correspondent-elles.

Tableau III.3 : les vitesses de coupe.

Matériaux	Les aciers	Aluminium	Les céramiques
Vitesse de rotation	150 à 500 tr/min	500 à 1000 tr/min	> 1000 tr/min

4.7. Partie études

4.7.1. Etude cinématique du système moteur - courroie - poulie étagée - disque diamanté :

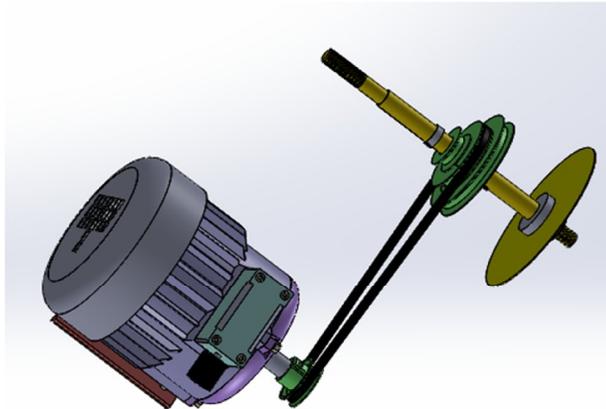


Figure III.35: Vue du système moteur - courroie - poulie étagée - disque diamanté

Type de transmission :

Transmission par courroie (courroie trapézoïdale)

Rapport de transmission (i) :

$D1 = 35\text{mm}$ (diamètre de la poulie moteur)

$D2 = 70\text{ mm}$ (grand diamètre de la poulie étagée)

$$i = \frac{D2}{D1} = \frac{70}{35} = 0,5$$

Rendement de transmission :

$P_m = 1,2\text{ kw}$ (puissance du moteur)

$n = 0,94\%$ (rendement de la courroie)

$P_t = P_m \cdot n = 11,28\text{ kw}$ (puissance transmise a la poulie)

vitesse tangentielle du disque diamanté :

Pour la vitesse nominale du moteur $n_m = 1430\text{ tr/min}$

$i = 0,5$ (rapport de transmission).

$D = 150\text{ mm}$ (diamètre du disque).

$n_d = n_m \cdot i = 1430 \cdot 0,5 = 715\text{ tr/min}$ (vitesse de rotation du disque).

$V_d = n_d \cdot \pi \cdot D = 715 \cdot 3,14 \cdot 150 = 336765\text{ mm/ min}$ (vitesse tangentielle du disque)

$$V_d = \frac{336765}{60} = 5,6\text{ m/s}$$

4.7.2 : Etude dynamique du bras articulé :

Nous devons dans cette partie déterminer la force de pression F appliquée au bout du porte échantillon par le moteur pas à pas :

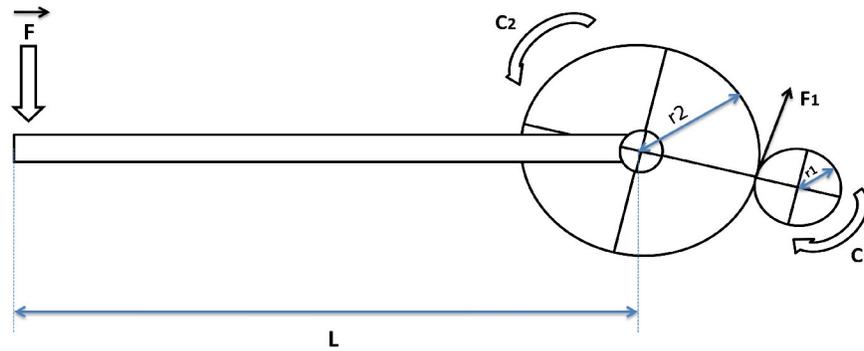


Figure III.36 : représentation schématique du bras articulé.

Détermination de F1 :

Données :

$C = 5 \text{ N.m}$ (couple maximal du moteur pas-à-pas)

$r_1 = 10 \text{ mm}$

$r_2 = 25 \text{ mm}$

$n = 0,98$ (rendement de la transmission par engrenage)

$i = \frac{r_2}{r_1}$ (rapport de transmission)

$L = 250 \text{ mm}$

Calculs :

$$i = \frac{r_2}{r_1} = \frac{25}{10} = 2,5$$

$$F_1 = \frac{C_2}{r_1} = \frac{C_2}{10}$$

$$\Rightarrow C_2 = F_1 \cdot r_1 = F_1 \cdot 10$$

$$\Rightarrow C_2 = \frac{C_1}{i} \cdot 0,98$$

$$F_1 = 12,25 \text{ N}$$

$$M_2 = F_2 \cdot d_2$$

$$\Rightarrow M_2 = \frac{F_2 \cdot d_2}{2}$$

$$\Rightarrow M_2 = \frac{49 \cdot 245}{2} =$$

$$M_2 = 245 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$\Rightarrow M_1 \cdot d_1 = M_2$$

$$\Rightarrow M_1 = \frac{M_2 \cdot d_2}{d_1}$$

$$M_1 = 49 \text{ N}$$

Le disque applique une force de réaction équivalente à la force F (F=R=49N).

Pour que l'échantillon reste amovible lors de la phase de coupe, la force de pression F₁ nécessaire que doit fournir la vis de serrage doit être supérieure à la force de réaction R avec un coefficient de sécurité $\hat{E} \hat{E}$

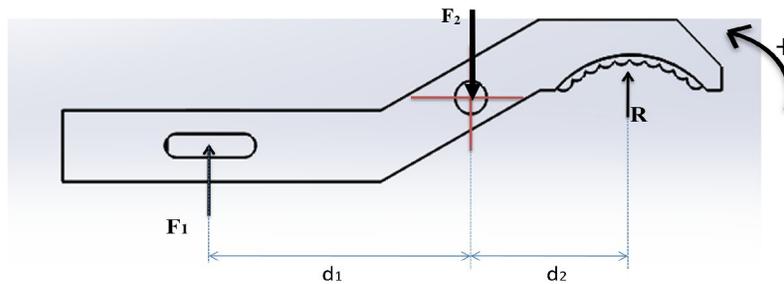


Figure III.37: représentation schématique des forces appliquées au mors fixe.

A l'équilibre

$$\sum M = 0$$

$$\Rightarrow M_1 \cdot d_1 + M_2 \cdot d_2 = 0$$

$$\hat{A} \hat{R} \hat{E} \hat{E}$$

$$\Rightarrow \|M_1\| = \|M_2\| \cdot \frac{d_2}{d_1}$$

$$\Rightarrow F_1 = \frac{F_2}{s}$$

$$\Rightarrow F_1 = 24,5 N$$

Le coefficient de sécurité $s=1,5$, appliqué à la force de pression $F_2=37,5 N$ nous donne une force de serrage égale à $24,5 N$

À l'équilibre

$$\sum M_A = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_z = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

4.7.3 : Vérification des sections dangereuses :

Certains composants présentent des parties soumises à des contraintes auxquelles des calculs de résistance sont nécessaires.

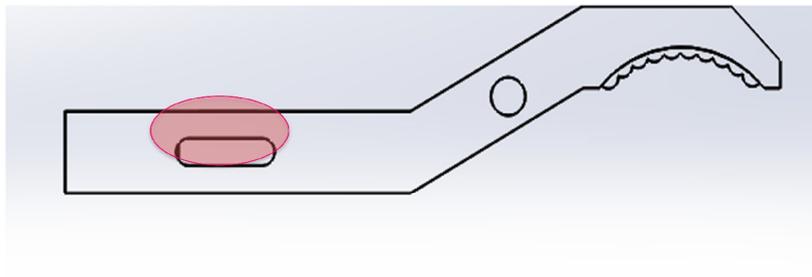
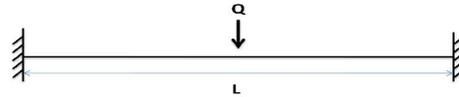


Figure III.38: représentation des sections dangereuses sur le mors fixe

Nous allons assimiler cette section à une poutre encastrée des deux bouts soumise à une charge ponctuelle sollicitée à la flexion.

Condition de résistance :

$$\sigma \leq [\sigma]_{adm}$$

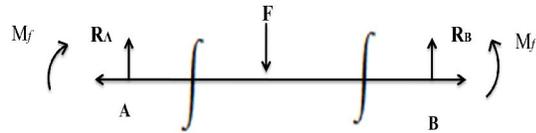


$$\sigma = \frac{M}{I} \leq [\sigma]_{adm}$$

$$\sigma = \frac{M \times y}{I} \leq [\sigma]_{adm}$$

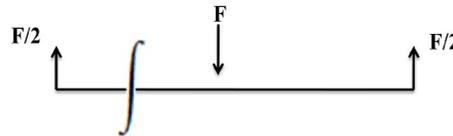
?

$$R_A + R_B - F = 0$$



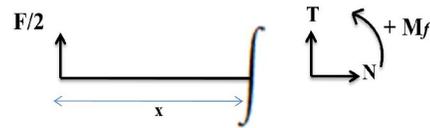
$$\sum M_A = 0$$

$$M_A - R_B L + F \frac{L}{2} = 0$$



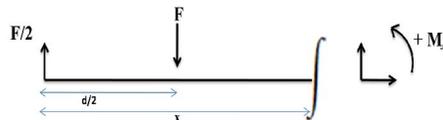
$$\sum M_B = 0$$

$$M_B - R_A L + F \frac{L}{2} = 0$$



$$\frac{F}{2} x - T x + M_f = 0$$

$$\Rightarrow M_f = T x - \frac{F}{2} x$$



$$\hat{A} \hat{A} \hat{A} \hat{A}$$

$$\frac{?}{?} \hat{A} \hat{A} \hat{A} \hat{A}$$

$$\hat{A} \hat{A} \frac{?}{?}$$

$$\int \hat{A} \hat{A} \frac{?}{?}$$

$$\hat{A} \hat{A} \frac{?}{?} \hat{A}$$

$$\hat{A} \hat{A} \frac{?}{?} \hat{A}$$

Conditions aux limites

$$\hat{A} \hat{A} \hat{A} \hat{A} \Rightarrow \frac{?}{?} \hat{A} \hat{A} \hat{A} \hat{A}$$

$$\frac{?}{?} \hat{A} \hat{A}$$

$$\hat{A} \hat{A} \frac{?}{?}$$

$$\hat{A} \hat{A} \frac{?}{?} \hat{A} \hat{A}$$

$$\int \hat{A} \hat{A} \frac{?}{?} \hat{A} \hat{A} \frac{?}{?}$$

$$\hat{A} \hat{A} \frac{?}{?} \hat{A} \hat{A} \frac{?}{?} \hat{A} \hat{A}$$

$$\hat{A} \hat{A} \frac{?}{?} \hat{A} \hat{A} \frac{?}{?} \hat{A} \hat{A}$$

Conditions aux limites :

$$\hat{A} \hat{A} \hat{A} \hat{A} \Rightarrow \frac{?}{?} \hat{A} \hat{A} \hat{A} \hat{A} \hat{A} \hat{A}$$

$$\Rightarrow ?$$

$$\Rightarrow \hat{A} \hat{A} \frac{?}{?} \hat{A} \hat{A} \frac{?}{?}$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{\tau_{\text{adm}}}{48}$$

$\sigma_{\text{adm}} = \dots$

$R_e = 380 \text{ Mpa}$

$R_p = 550 \text{ Mpa}$

$E = 210 \text{ Gpa}$

\dots

\dots

\dots

\dots

$$\frac{\tau_{\text{max}} \times \dots}{\dots} \leq \frac{\tau_{\text{adm}}}{\dots}$$

$\dots \ll 190 \Rightarrow \tau \leq [\tau]_{\text{adm}}$

La section résiste largement à la flexion

La goupille est soumise à un effort de cisaillement sur deux section, donc on doit vérifier sa résistance



Figure III.39: représentation des sections cisailées sur la goupille

Données:

$$d = 7 \text{ mm}$$

$$R_e = 380 \text{ Mpa}$$

$$R_p = 550 \text{ Mpa}$$

$$E = 210 \text{ Gpa}$$

$$F : 86,8 \text{ N}$$

$$n = 2$$

$$? \frac{???}{?} \text{ (la surface)}$$

S:coefficient de sécurité

Condition de résistance :

$$\frac{?}{?Q} \leq [?]$$

Vérification :

$$\frac{?}{\dot{E}G} \leq \frac{?}{?}$$

$$21,5 \text{ Mpa} \ll 190 \text{ Mpa} \Rightarrow ? \leq [?]_{\text{adm}}$$

La goupille résiste au cisaillement.

Conclusion générale

La conception des dispositifs mécanique connaît une expansion fulgurante notamment grâce à l'apparition de nouveaux matériaux, ce qui impose de renouveler ou d'améliorer nos outils coupants. Dans ce travail on c'est donner comme objectif d'apporter des modifications sur une scie diamantée présente déjà dans le marché pour améliorer sa précision qui est diminuée par l'intervention importante de l'opérateur.

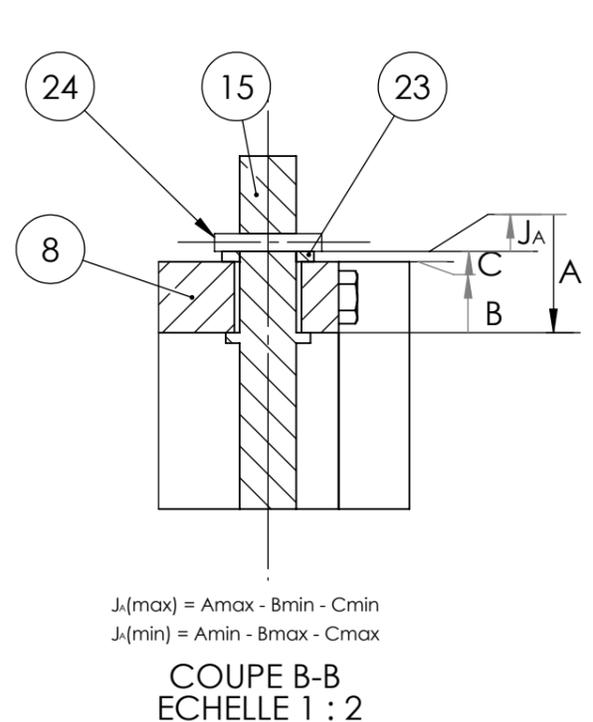
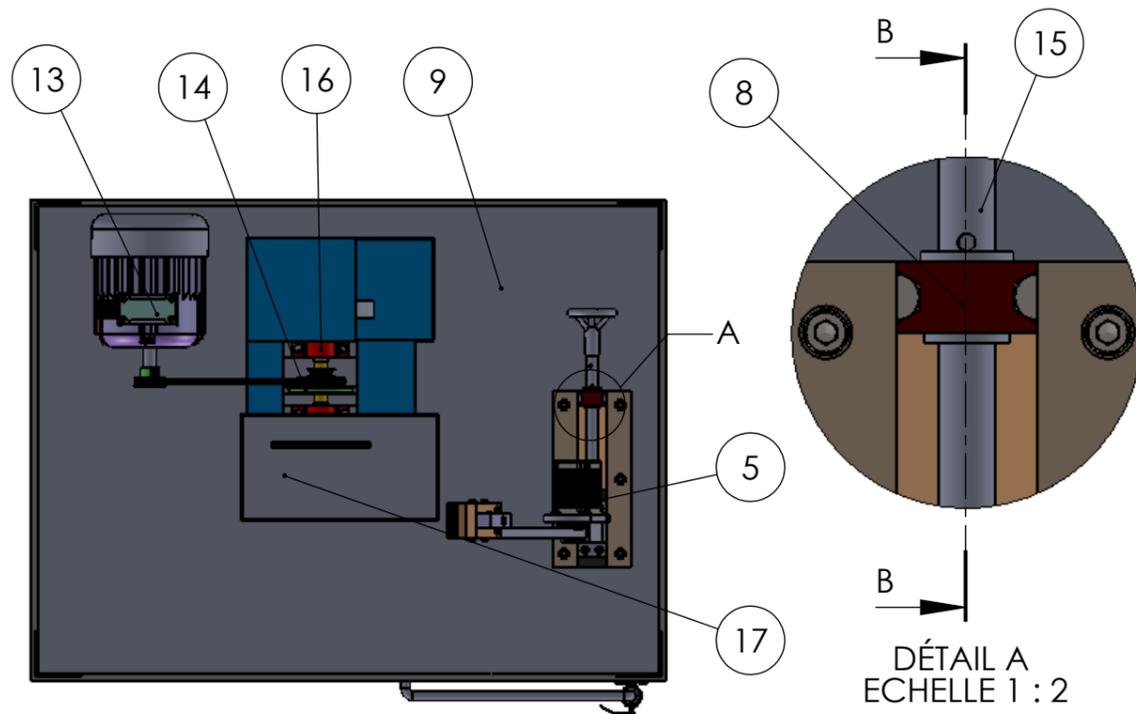
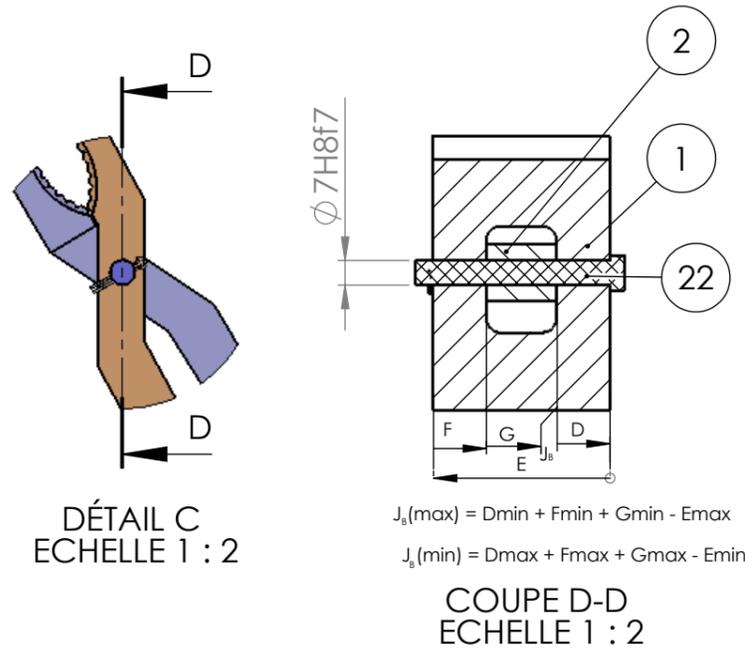
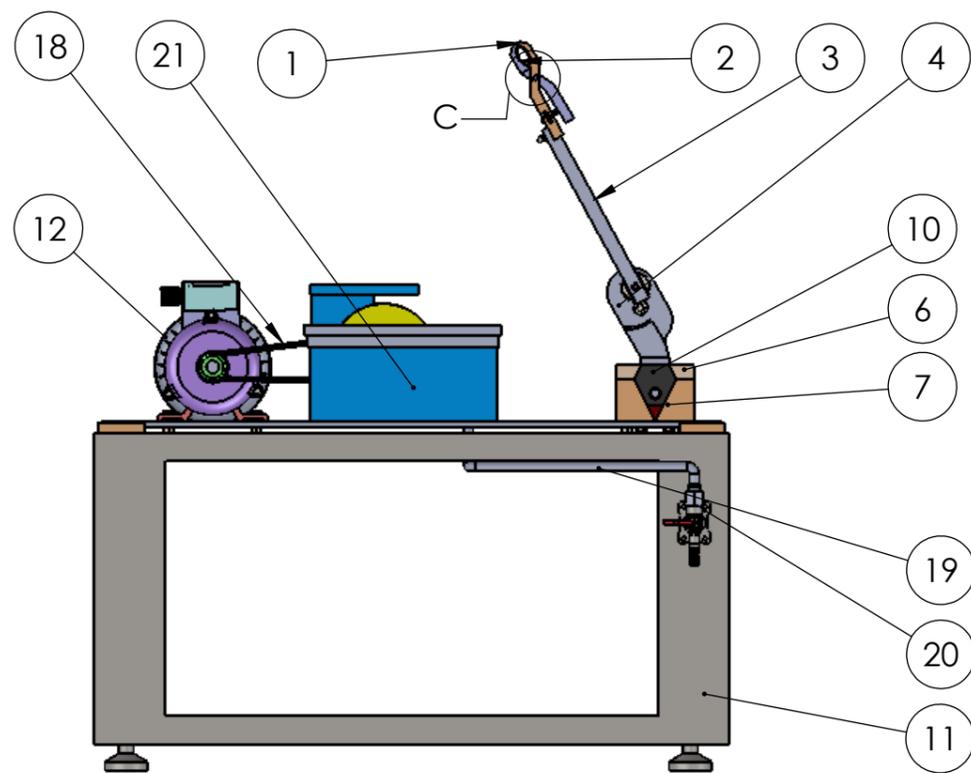
Pour ce faire nous avons conçu des dispositifs mécaniques qui vont réaliser les tâches autrefois alloué à l'opérateur sur machine. En vue de pouvoir mener à bien notre conception nous avons adopté la méthode scientifique de l'analyse de la valeur, essayant ainsi d'apporter les meilleures solutions aux problématiques auxquelles nous faisant face.

Au cour de notre travail qui s'inscrit dans la conception adaptative, nous avons adopté la méthodologie de l'analyse de la valeur qui est une méthode itérative de conception visant à optimiser les cout et les performances, et d'obtenir la meilleure solution possible, pour se faire le logiciel de conception en trois dimension nous a été d'une grande aide. Au final nous avons aboutis sur la conception d'une scie capable de couper différents matériaux avec une meilleure précision.

Toutefois nos objectifs ne sont que partiellement atteints, car le manque de matière première et des moyens nous a empêchés de mener a bien la partie réalisation.

Bibliographie

- [1] M. TOLLENARER, « Conception de produits mécanique, méthodes modèles et outils », Hermes, Paris, 1998.
- [2] Philippe Boisseau, La conception mécanique : Méthodologie et optimisation, Dunod / Usine Nouvelle ,Paris 2011.
- [3]Michael F. ashby choix des matériaux en conception mécanique, dunod/usine nouvelle, paris, 2004.
- [4] Dieter Landolt, Traité des matériaux, 12 Corrosion et chimie des surfaces 1997.
- [5] AFNOR, « NF X.50 – 153, Analyse de la valeur, recommandation pour sa mise en œuvre » association française de normalisation, Paris 1990-1991.
- [6] A ACHOUR, A LEKADRI, Conception d'un fauteuil roulant par la méthode analyse de la valeur, Thèse d'ingénieur, université M. MAMMERI de Tizi Ouzou, 2004.
- [7] Ameziane AOUSSAT « la pertinence en innovation : la nécessité d'une approche plurielle, Thèse de doctorat, ENSAM 1990.
- [8] Yoan BAISSET « la gestion des connaissances en conception », Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, 2004.
- [9] Y. ZEROUKHI, Y MESSADI , Application de la méthode analyse de la valeur pour la conception d'un banc d'essai d'usure, Thèse d'ingénieur, université M. MAMMERI de Tizi Ouzou.
- [10] Guide des sciences et technologies industrielles édition AFNO
- [11] Livre de normes A. CHEVALIER. Édition 2004.
- [13] Polycopie analyse de la valeur. Édition AFNOR.
- [12] AFNOR, « NF L 00- 007 : industrie aéronautique et spatial – vocabulaire- termes généraux » association française de normalisation. Paris, 1992
- [14] J- C. Mauclerc, Y. Aubert, A.domenach, Guide du technicien en électronique, édition Hachette Technique, 1995.
- [15] Patrick Chantereau et Erik Bartman, Le grand livre de l'Arduino, Eyrolles, 2014.

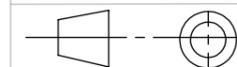


24	01	Goupille 02	Acier trempé	
23	01	Rondelle	Acier trempé	
22	01	Goupille 01	Acier trempé	
21	01	Carcasse	Tole galva	
20	01	Vanne d'arrêt		
19	01	Tuyoterie	Cuivre	
18	01	Courroie		
17	01	Cache meule	Tole galva	
16	02	Palier	Acier ordinaire	
15	01	Tige filté	Acier Z200	
14	01	Poulie etagée	Aluminum	
13	01	Variateur de vitesse		
12	01	Moteur électrique		
11	01	Table	Bois	
10	01	Assise porte echantillon	Acier Z200	
9	01	Base	Acier ordinaire	
8	01	Tasseau	Acier ordinaire	
7	02	Glissiere	Acier Z200	
6	02	Contre glissiere	Acier Z200	
5	01	Moteur pas à pas		
4	01	Partie fixe	Acier Z200	
3	01	Partie mobile	Acier Z200	
2	01	Mors mobile	Acier Z200	
1	01	Mors fixe	Acier Z200	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation

Echelle:
1:10

Conception d'une scie diamantée

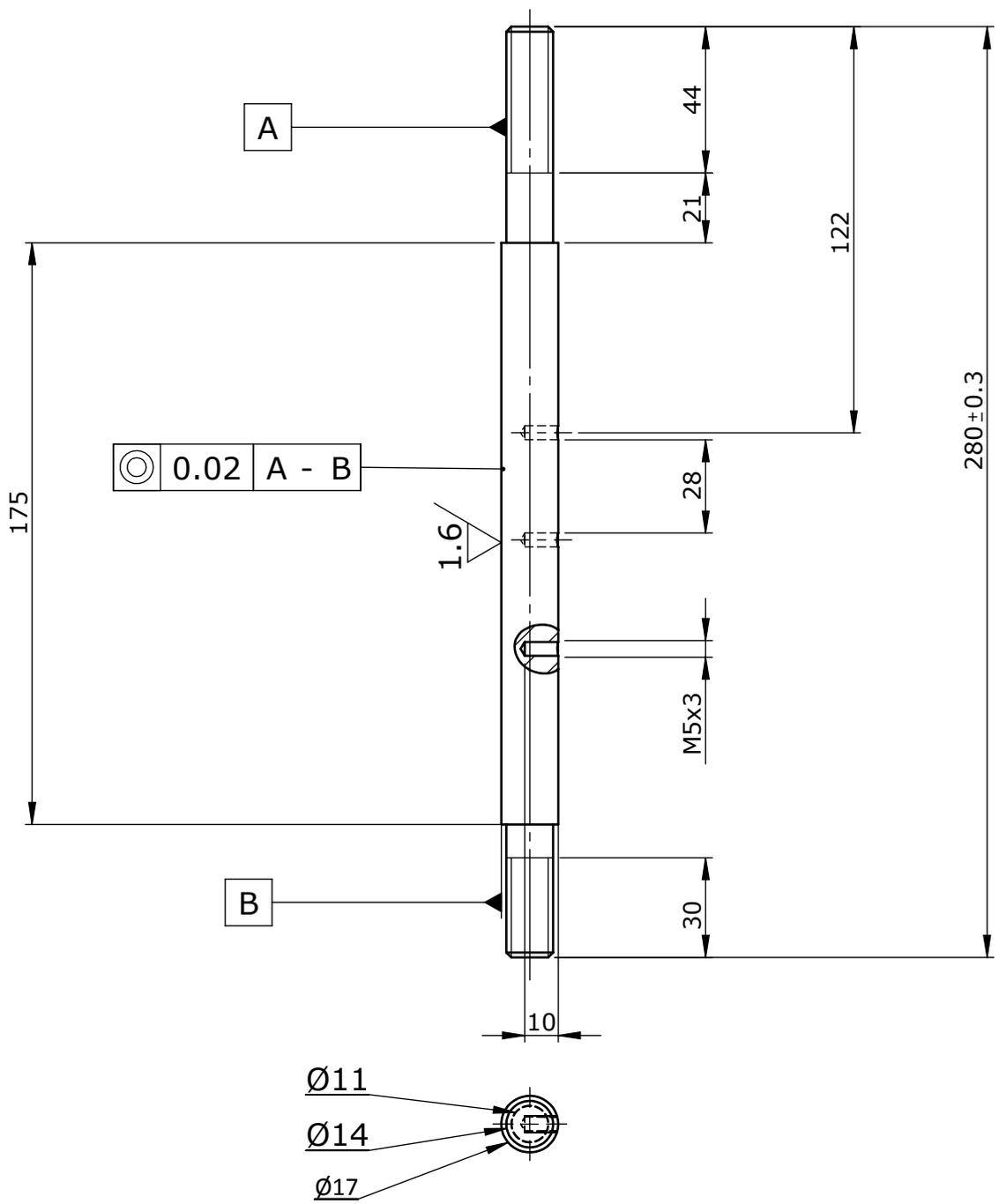
Réaliser par :
SAIM DJaafar
MENDACI Farid



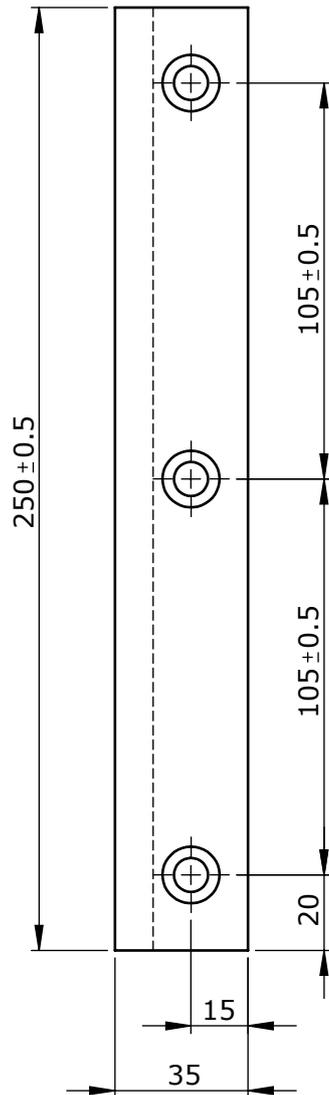
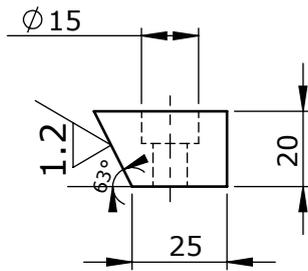
Projet de fin d'étude

A3

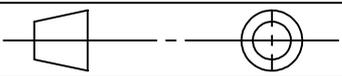
Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou 01/06/2016

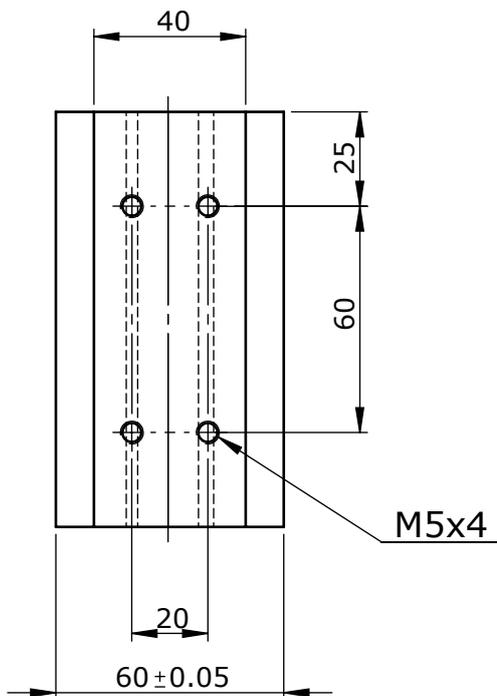
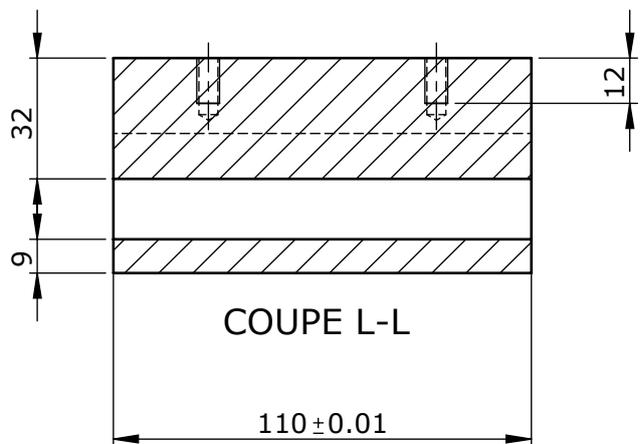
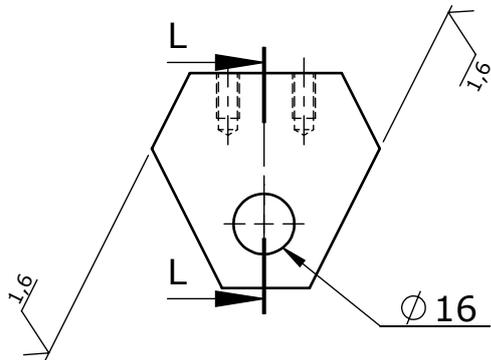


	1	Arbre	Acier allié	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	01/06/2016	



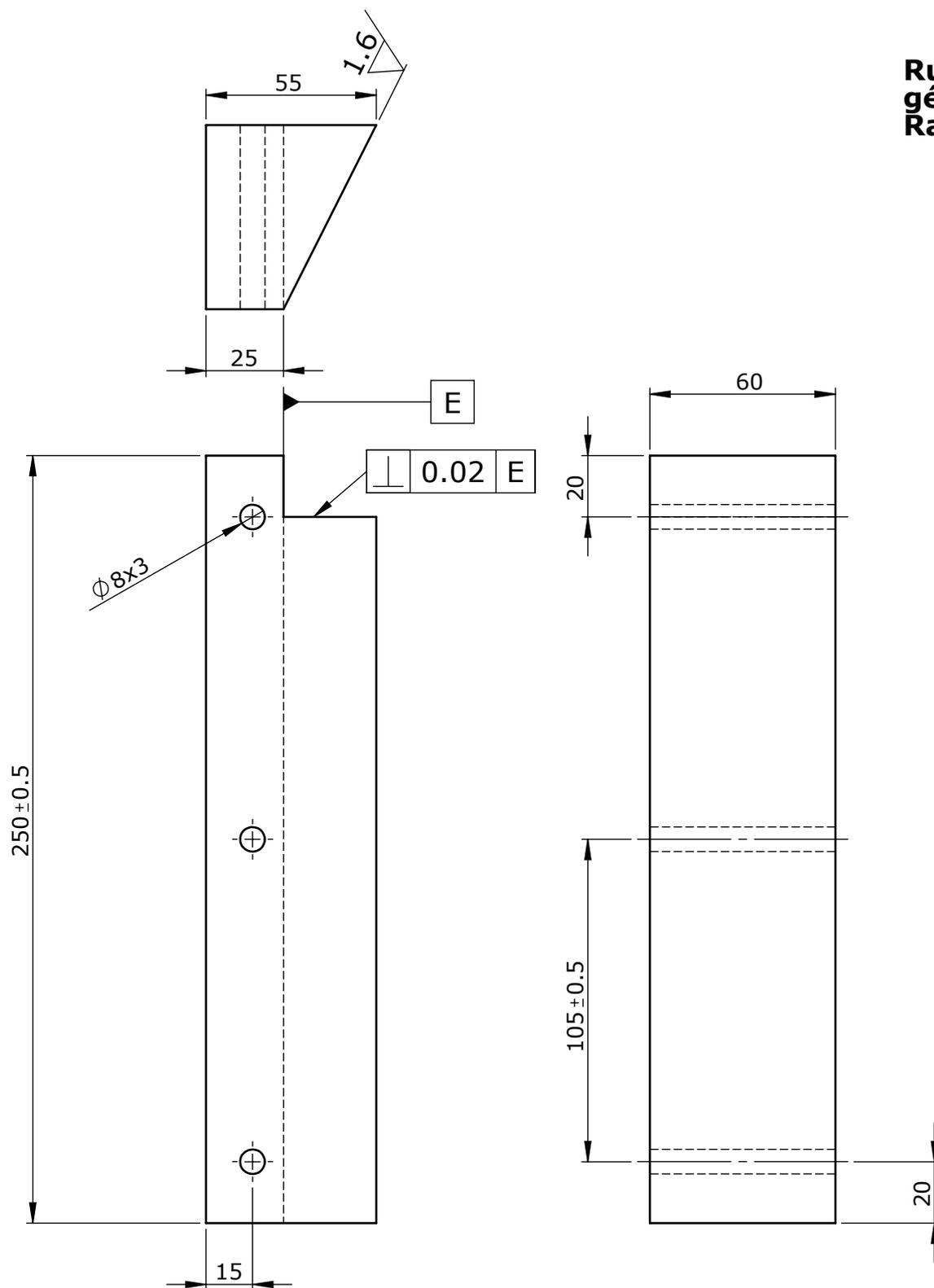
**Rugosité générale
Ra: 6.3**

6	1	Contre glacière	Acier Z200	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée		SAIM Djaafar MENDACI Farid
				Projet de fin d'etudes
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		01/06/2016

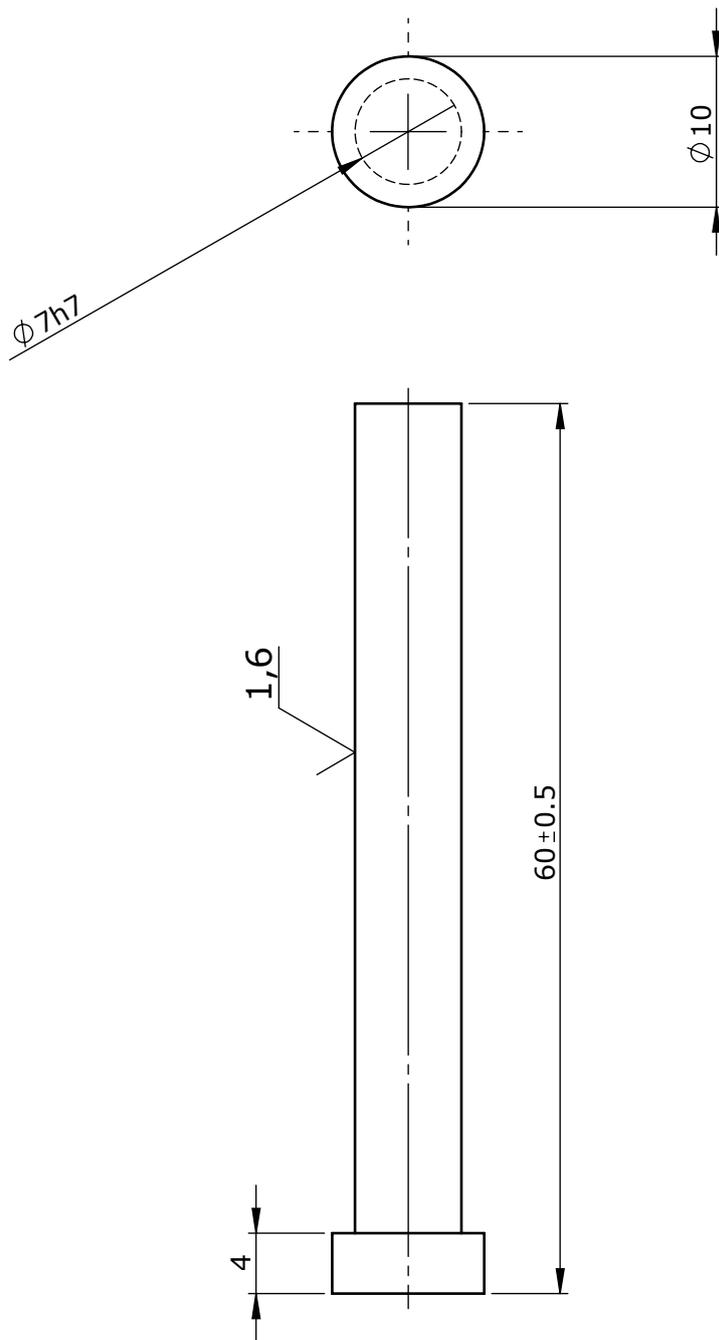


10	1	Assise porte echantillon	Acier Z200	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée		SAIM Djaafar MENDACI Farid
				Projet de fin d'etudes
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		01/06/2016

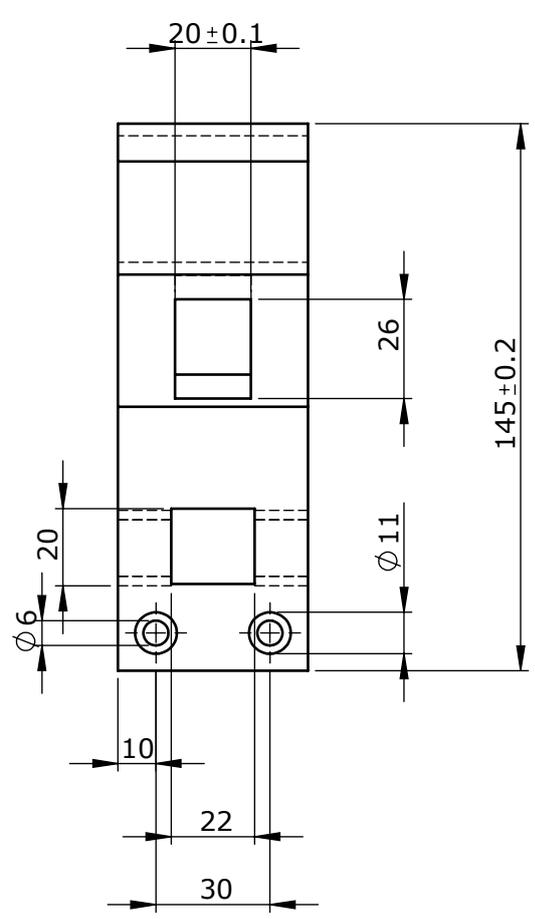
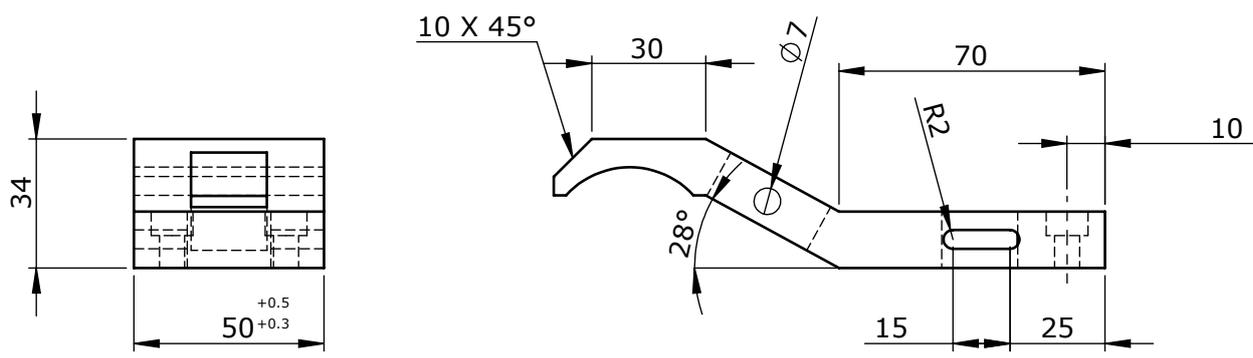
**Rugosité
générale
Ra : 6.3**



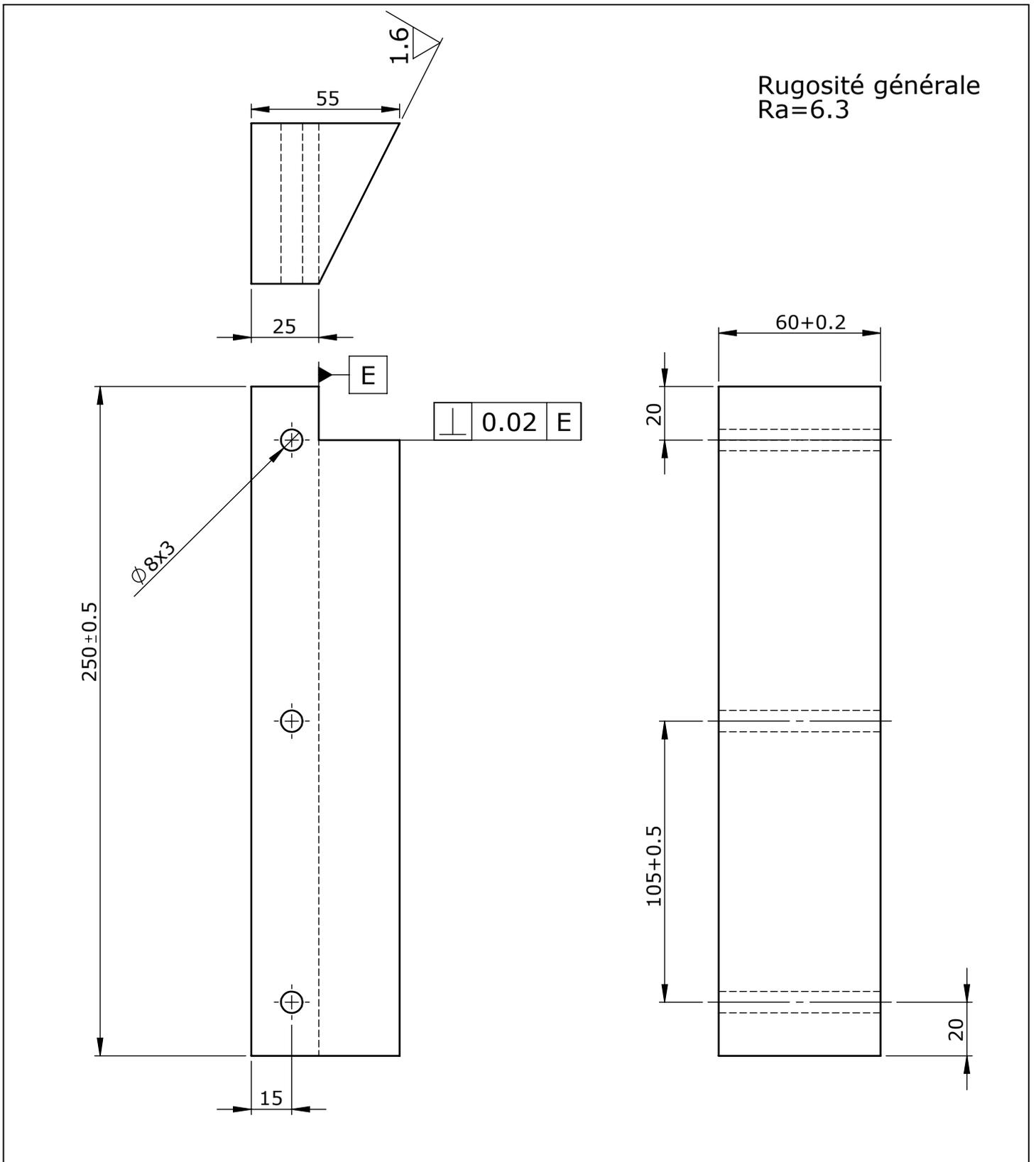
7	2	Glicière	Acier Z200	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	01/06/2016	



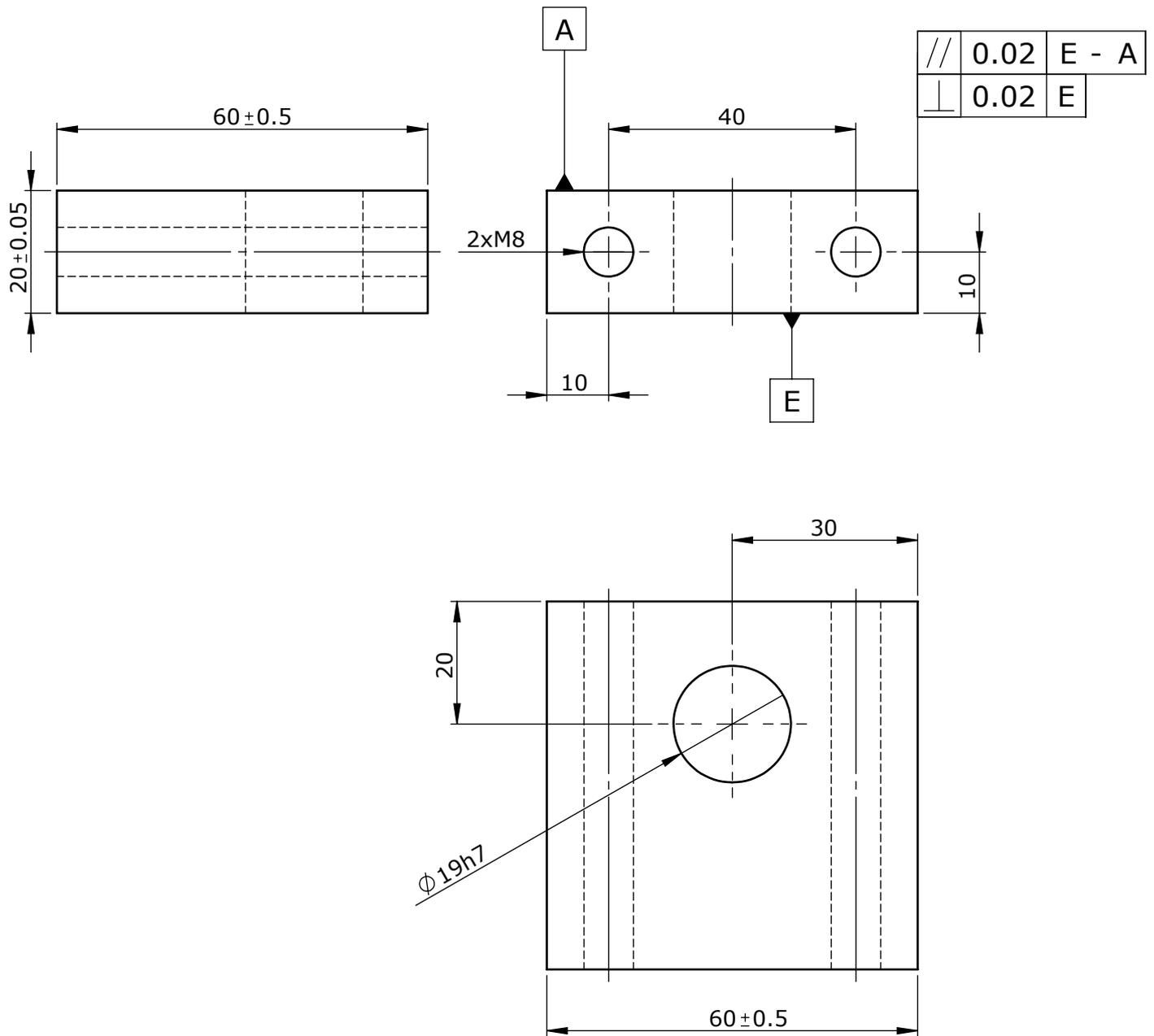
	1	Goupille	Acier allié 42CD4	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 2:1		Scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		01/06/2016

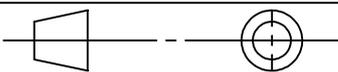


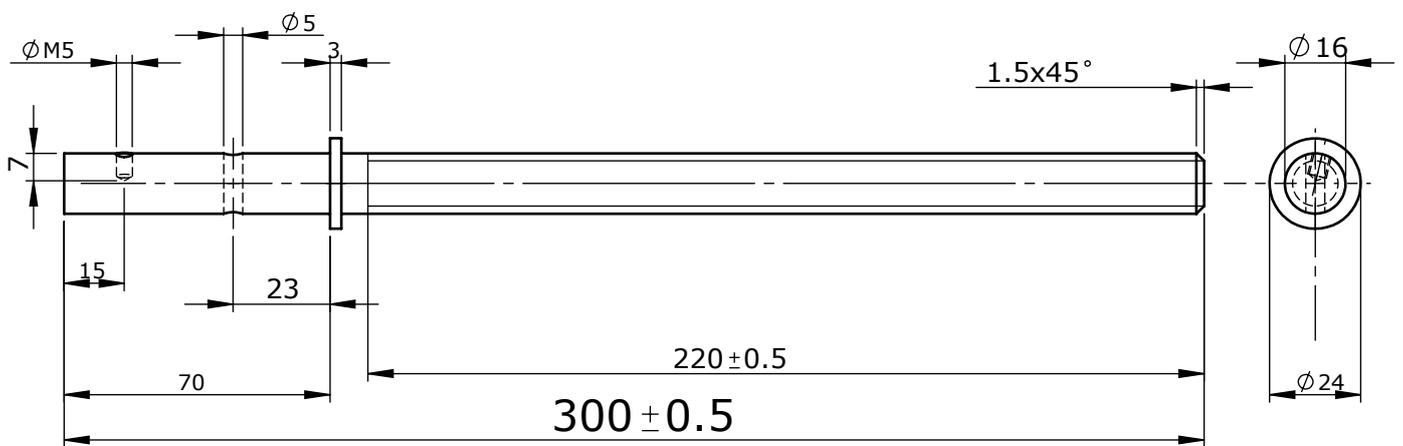
1	1	Mors fixe	Acier allié	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée		SAIM Djaafar MENDACI Farid
				Projet de fin d'etudes
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		01/06/2016



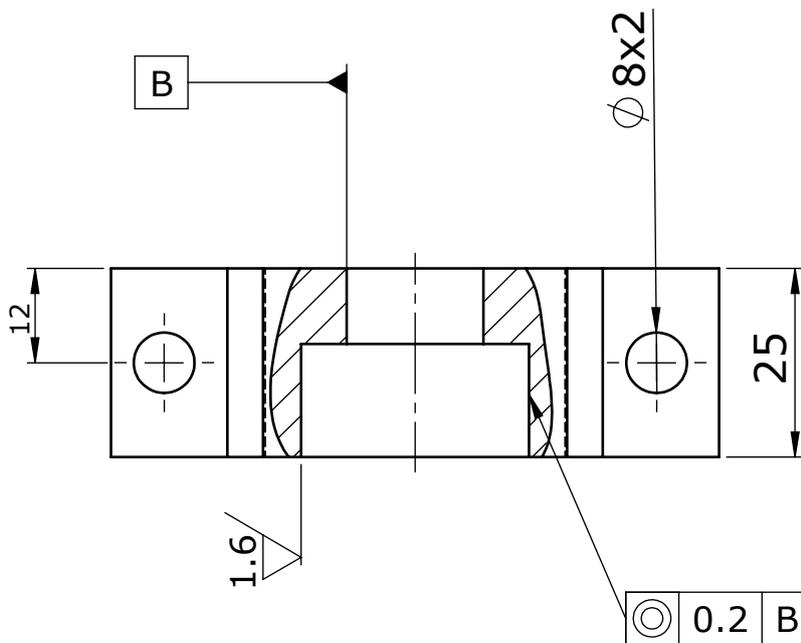
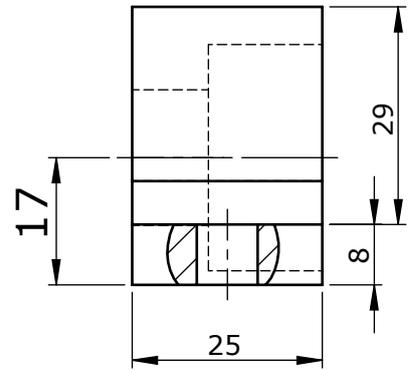
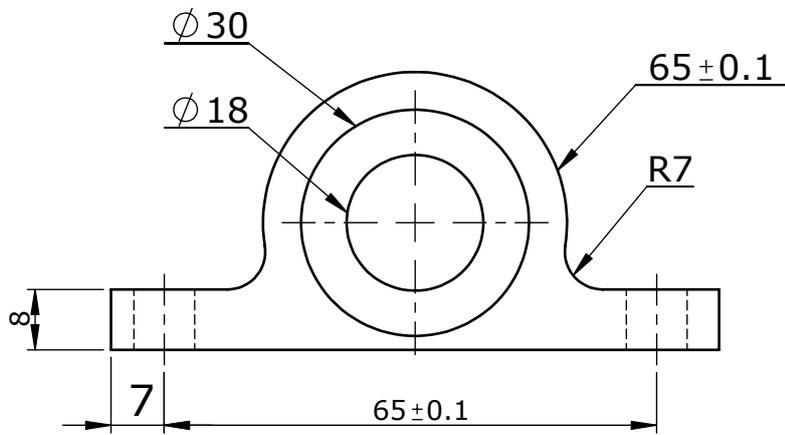
7	2	Glicière	Acier Z200	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	01/06/2016	



8	1	Tasseau	Acier allié	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		Scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	01/06/2016	

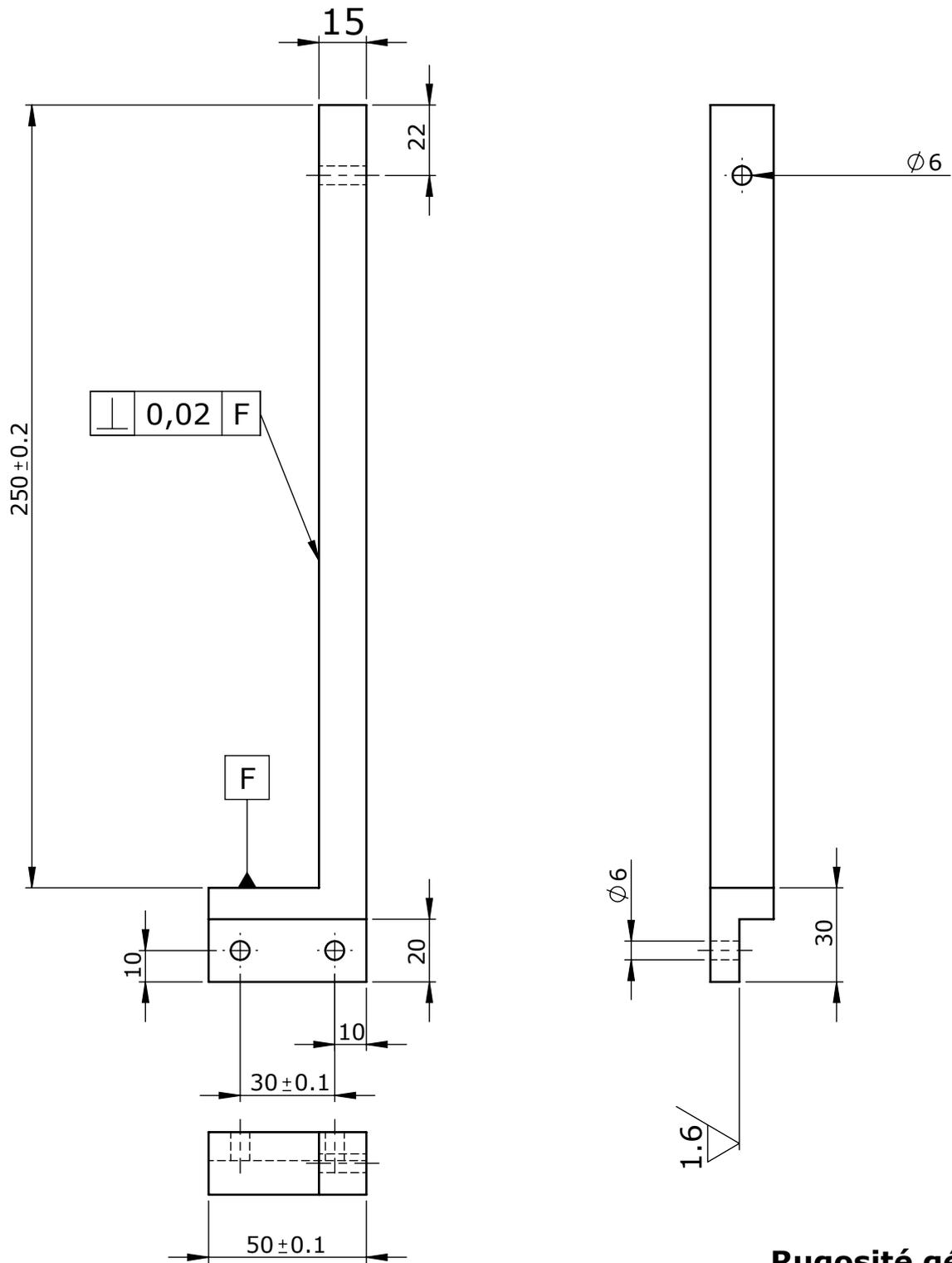


15	1	tige filtée	Acier allié	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	01/16/2016	



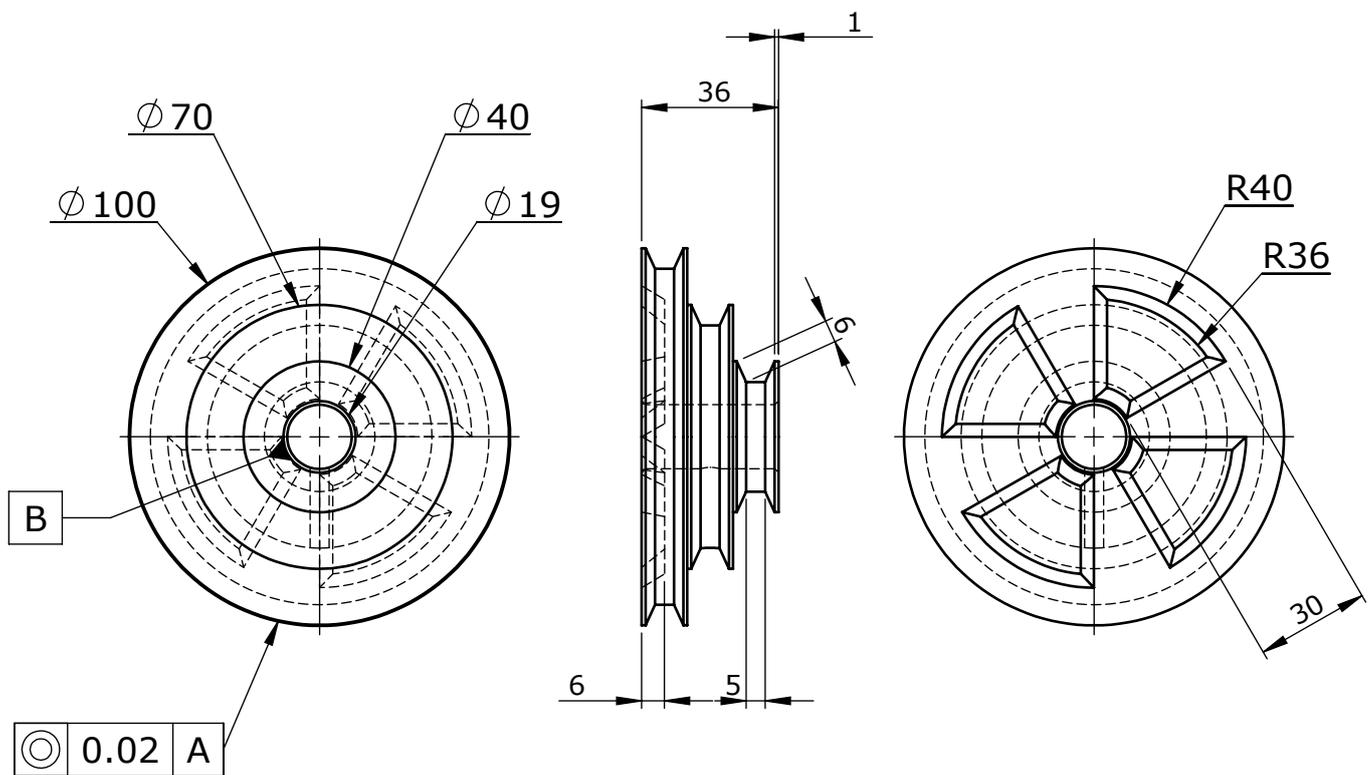
Rugosité générale
Ra: 6.3

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
16	2	Palier	Acier ordinaire	Trempé
Echelle: 1:1		Scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	01/06/2016	



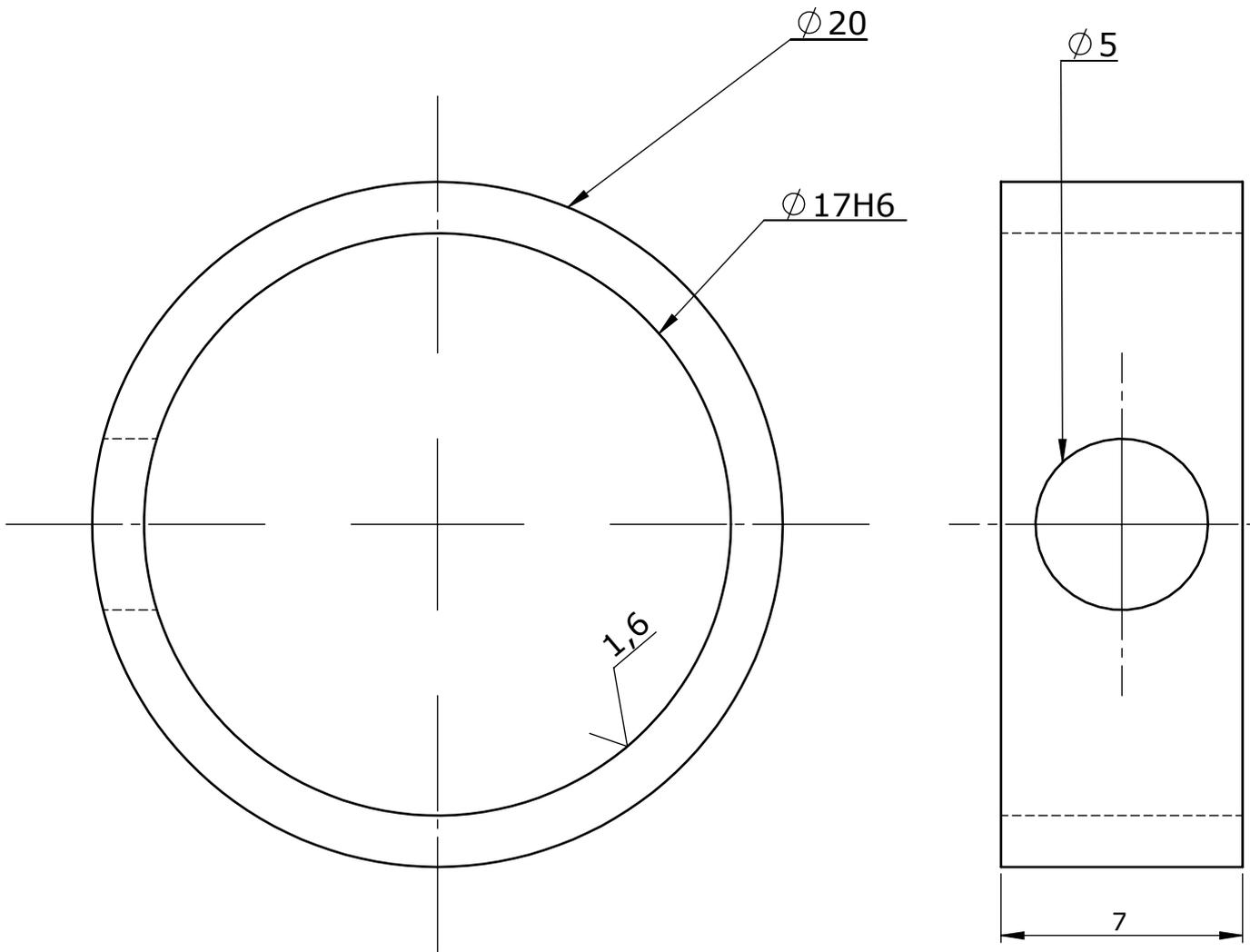
**Rugosité générale
Ra: 6.3**

3	1	Partie mobile	Acier allié	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée		SAIM Djaafar MENDACI Farid
				Projet de fin d'etudes
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		01/06/2016

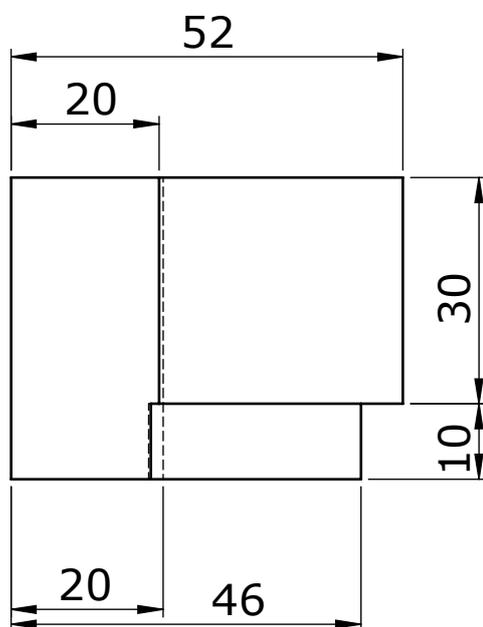
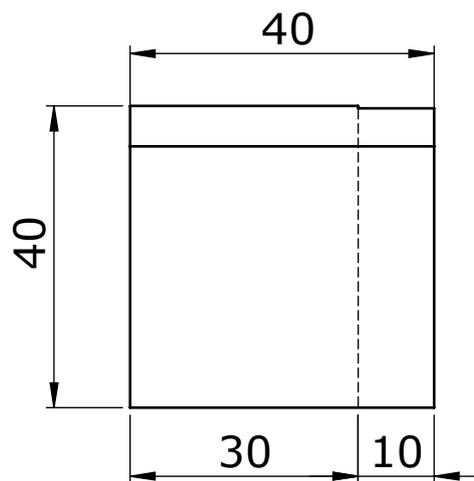
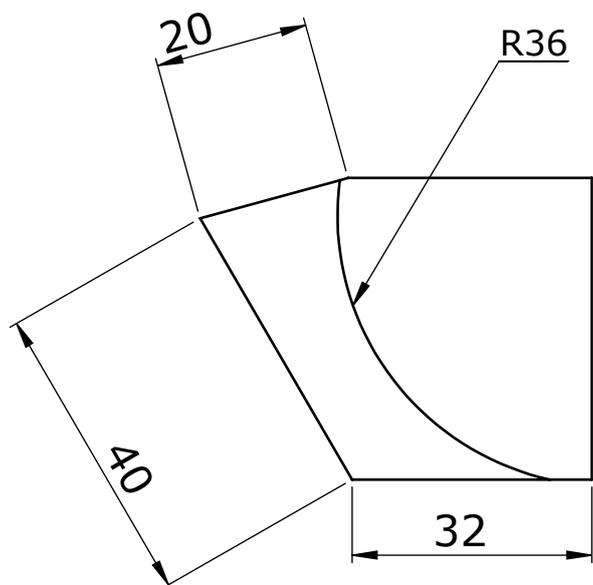


Rugosité générale
Ra: 3.2

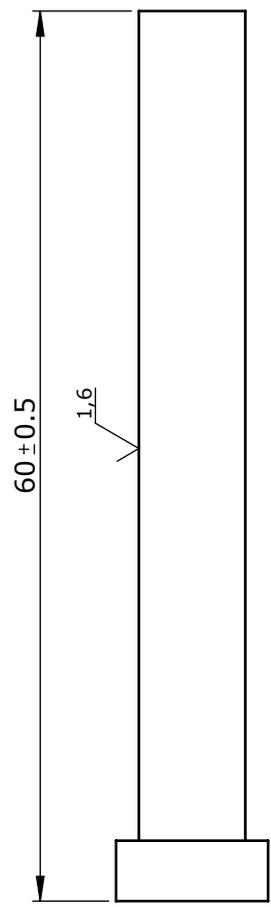
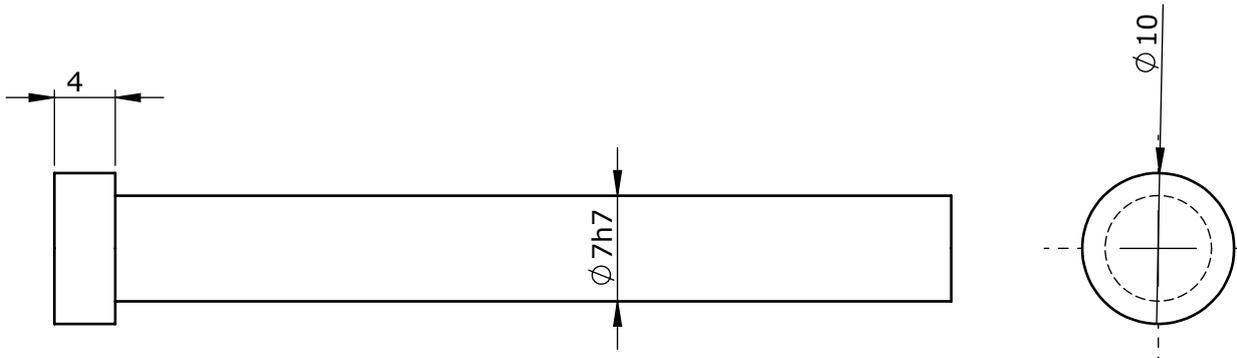
14	1	Poulie étage	Alumium	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	01/06/2016	

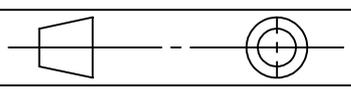


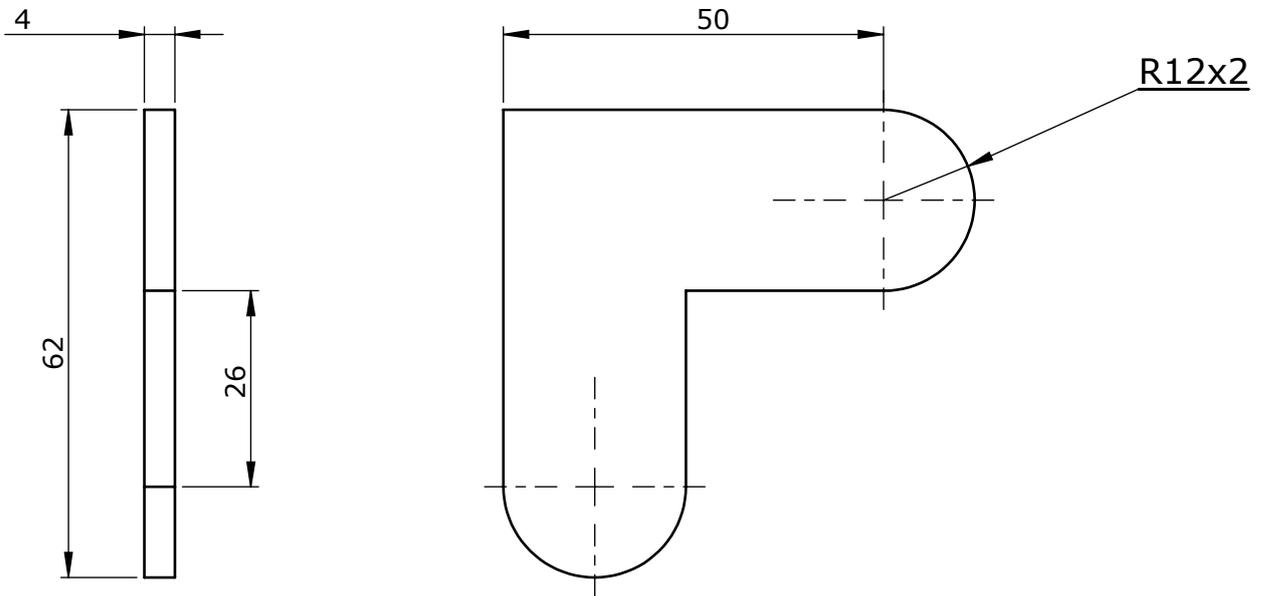
	1	Bague roulement	Acier allié	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 5:1		Scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		01/06/2016



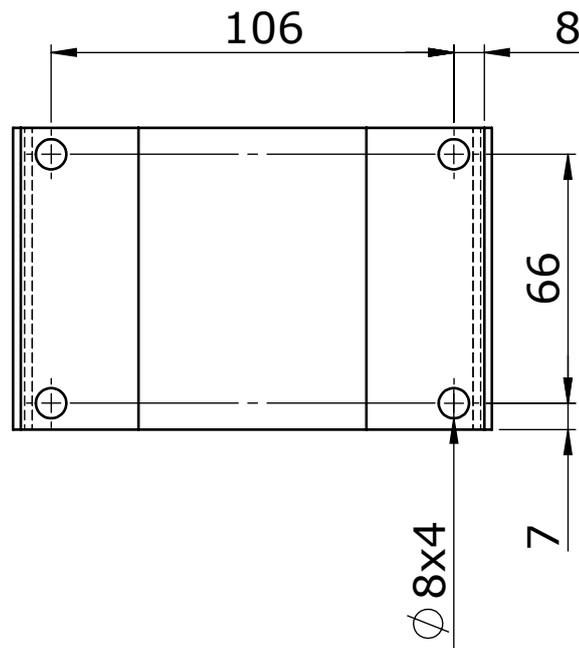
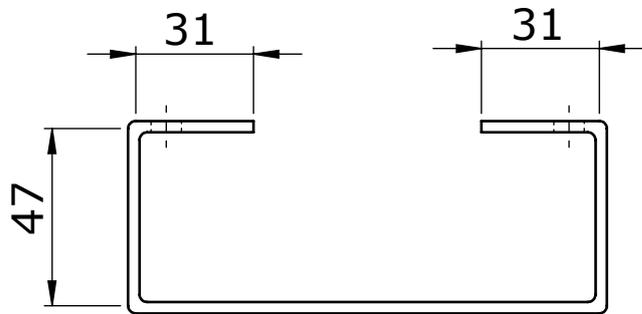
4	1	partie Massive	Acier allié	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée		SAIM Djaafar MENDACI Farid
				Projet de fin d'etudes
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		01/06/2016



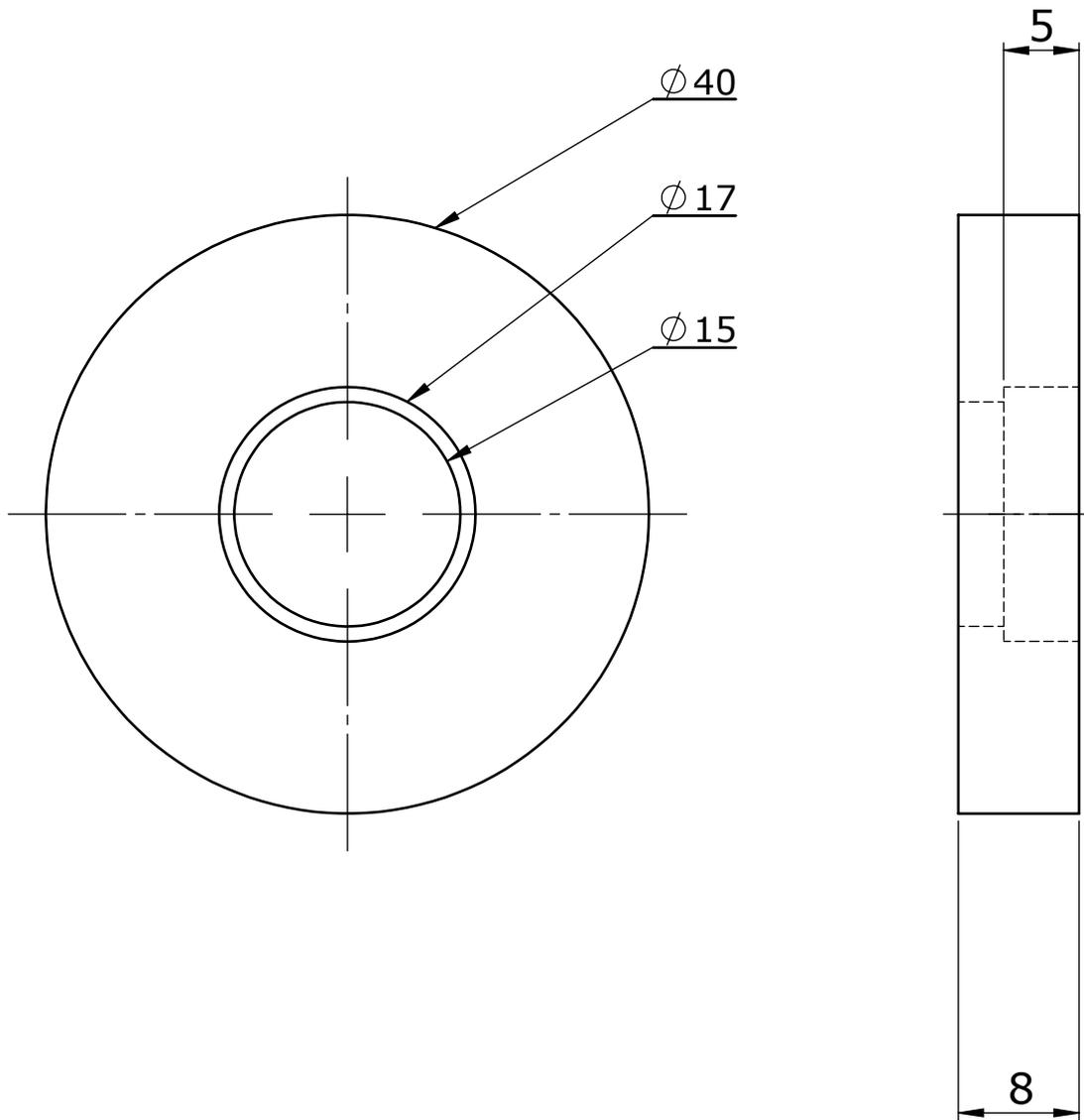
	1	Goupille-mors	Acier allié	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 2:1		scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	01/06/2016	



	1	Joint amortisseur	Polymère	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		Scie diamantée insrtumentée	SAIM Djaafar MENDACI Farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	01/16/2016	



	1	porte palier	Acier allié	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		Scie diamantée insrtumentée	saim djaafar mendaci farid	
			Projet de fin d'etudes	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	01/06/2016	



	1	rondelle disque	Acier allié	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 2:1		Scie diamantée insrtumentée		SAIM Djaafar MENDACI Farid
				Projet de fin d'etudes
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		01/06/2016