

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la recherche scientifique

Université Abderrahmane Mira Béjaïa

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication mécanique et productive

Par :

BENMAOUCHE Boubekur

ALLAOUA Adlane

Thème

Matériaux, dimensionnement et fabrication de la clavette pour tondeuse à gazon

Soutenu le 18/10/2021 devant le jury composé de:

Mr.HADJOU.M

Président

Mr.BELAMRI.A

Rapporteur

Mr.BENSAID.N

Examineur

Année Universitaire 2020-2021

Remerciements

Nous remercions en premier lieu, dieu tout puissant, l'auteur de notre vie et la source de notre force pour avoir guidés et donné le courage et sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour

Nos vifs remerciements vont droit à notre encadreur, Dr Abdelatif BELAMRI, pour son aide précieuse, de nous avoir encadrés durant tout le semestre et de nous avoir donné beaucoup de son temps.

Nous tenons à rendre hommage à tous les membres de nos familles, en particulier nos chers parents, nos frères et sœurs et à qui dédie ce travail.

On approuve notre gratitude envers toute personne ayant contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nous ne saurions terminer sans exprimer nos remerciements à tous nos camarades et amis du hall de technologie, avec qui nous avons vécu et partagé que des bons moments.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A tous ceux que j'ai de précieux, mes chers parents qui sont une bénédiction dans ma vie, que dieu les bénisses et les protège.

A mes très cher frères et sœurs Rédha, Narimane, Salma, Lydia, Younes et Mélissa, en particulier mon petit frère Younes, qui est une source de bonheur et d'énergie.

A ma très chère Fifi qui a toujours été à mes côtés

A la mémoire de mes chers grands parents

A mes oncles et tantes

A mon binôme Boubekour pour son aide et son soutien.

A mes cher amis, Karim, Rachid.

A tous ceux que j'aime.

Adlane

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A tous ceux que j'ai de précieux, mes chers parents qui sont une bénédiction dans ma vie, que dieu les bénisses et les protège.

A ma très cher sœur Lamia pour son aide et son soutien.

A mes très cher frères Hakim et Anis.

A mes cher amis Mohamed, Kouceila, Arrezki.

A mon binôme Adlane pour son aide et son soutien.

A tous ceux que j'aime.

Boubekeur

Sommaire

Remerciements.....	i
Dédicaces	ii
Sommaire	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Introduction Générale.....	1
Chapitre I :Généralités sur la tondeuse à gazon à moteur thermique	3
I.1. Introduction	4
I.1.1 Description détaillée de la machine.....	5
I.2. Nomenclature de la machine	6
I.3. Caractéristiques de la machine	7
I.4. Fonctionnement de la machine.....	8
I.4.1 Fonctionnement avec lame ventrale	8
I.4.2 Fonctionnement avec lame hélicoïdales	8
I.4.3 Fonctionnement avec lame ventrale ou hélicoïdales.....	8
I.5. Conclusion.....	9
Chapitre II :Étude et conception des clavettes	10
II.1. Introduction	11
II.1.1 Les clavettes.....	11
II.1.2 Calvetage	11
II.1.3 Classification du clavetage	12
II.1.3.1 Clavetage transversal	12
II.1.3.2 clavetage tangentiel	13
II.1.3.3 Clavetage longitudinal	14
II.1.3.3.1 Clavetage longitudinal forcé.....	14
II.1.3.3.2 Clavetage longitudinal libre.....	16
II.1.4 Clavetage par clavettes parallèles	19
II.1.4.1 Définition du clavetage parallèle	19
II.1.4.2 Clavettes parallèles ordinaires	21
II.1.4.2.1 Cotation de l'arbre et du moyau des clavettes parallèles ordinaires.....	23
II.1.4.2.2 Forme de rainures des clavettes parallèles ordinaires.....	23
II.1.4.3 Clavette parallèle fixée	24
II.1.4.4 Clavette disque	25

II.1.4.5 Détermination d'une clavette parallèle	26
II.1.4.6 Longueur de contact clavette/moyau	27
II.1.4.7 Calcul d'une clavette	28
II.2. Généralités sur les aciers	33
II.2.1 Définition de l'acier	33
II.2.2 Classification des aciers	33
II.2.2.1 Aciers alliés	33
II.2.2.2 Aciers non alliés	34
II.2.3 La fiche technique de l'acier 42CrMo4	35
II.2.3.1 Normalisation	35
II.2.3.2 Caractéristiques	35
II.2.3.3 Domaines d'applications	35
II.2.3.4 Composition chimique en %	35
II.2.3.5 Caractéristiques mécaniques moyennes	35
II.3. Les traitements thermiques des aciers	36
II.3.1 Définition	36
II.3.2 Traitements thermiques dans la masse	36
II.3.2.1 La trempe de l'acier	36
Chapitre III : Conception et simulation assisté par ordinateur des clavettes	38
III. 1. Introduction	39
III.2 La conception assistée par ordinateur CAO	39
III.2.1 Définition	39
III.2.2 Choix du logiciel utilisé pour la simulation	39
III.2.3 Le logiciel Solidworks	39
III.2.4 Simulation numérique	40
III.2.4.1 Présentation de la simulation numérique	40
III.2.4.2 Les étapes à suivre pour l'étude de simulation	40
III.3. Analyse des résultats de simulation	40
a. Les déplacements imposés	40
b. Application du chargement	41
c. Affectation du matériau	43
d. Application du maillage	43
e. Distribution du champ de contrainte dans l'ensemble des pièces	46
f. Distribution du coefficient de sécurité dans l'ensemble des pièces	47
g. Déplacement dans l'ensembles des pièces	49
III. 4. Conclusion	50
Conclusion Générale	51
Références Bibliographiques	52
ANNEXES	54
Annexe A : Fiche technique de l'acier 42CrMo4	55
Annexe B : Mise en plan clavette parallèle	56
Annexe C : Mise en plan clavette disque	57
Résumé/Abstract	58

Liste des figures

Figure I.1 : Tondeuse a gazon Garland 139cc ohv.....	4
Figure I.2 : Les éléments constituant la tondeuse à gazon Garland 139cc ohv.....	5
Figure I.3 : Vue éclatée du moteur de la tondeuse à gazon Garland 139cc ohv....	6
Figure II.1 : Clavetage	11
Figure II.2 : Types de clavetages.....	11
Figure II.3 : Clavetage transversal.....	12
Figure II.4 : Clavetage tangentiel.....	13
Figure II.5 : Clavette ronde.....	13
Figure II.6 : Clavette vélo.....	14
Figure II.7 : Clavettes inclinées.....	15
Figure II.8 : Clavette inclinée sans talon	15
Figure II.9 : Clavette inclinée a talon	15
Figure II.10 : Les clavettes parallèles ordinaires.....	17
Figure II.11 : Clavette parallèle fixé par vis.....	17
Figure II.12 : Clavette disque et clavette bateau.....	17
Figure II.13 : Maintien par vis ...	18
Figure II.14 : Maintien par écrou.....	19
Figure II.15 : Rainure exécutée à la fraise-doigt.....	20
Figure II.16 : Rainure exécutée à la fraise-disque.....	20

Figure II.17 : Clavettes parallèles ordinaires	21
Figure II.18 : clavette parallèle fixée par vis.....	24
Figure II.19 : Clavette disque.....	25
Figure II.20 : Clavette parallèle.....	27
Figure II.21 : Clavette demi disque	28
Figure II.22 : Clavette parallèle	30
Figure II.23 : Cycle thermique de trempe	37
Figure III.1 : Les processus de simulation	40
Figure III.2 : Déplacement imposé sur la clavette parallèle.....	41
Figure III.3 : Déplacement imposé sur la clavette disque.....	41
Figure III.4 : Application du chargement sur la clavette parallèle	42
Figure III.5 : Application du chargement sur la clavette disque.....	42
Figure III.6 : Propriété de l'acier 42CrMo4.....	43
Figure III.7 : Application du maillage sur la clavette parallèle.....	44
Figure III.8 : Application du maillage sur la clavette disque.....	45
Figure III.9 : Distrubtion du champ de contrainte dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul pour la clavette parallèle.....	46
Figure III.10 : Distrubtion du champ de contrainte dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul pour la clavette disque.....	47
Figure III.11 : Distribution du coefficient de sécurité obtenu dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul avec un coefficient minimal égal à 2 pour la clavette parallèle....	48
Figure III.12 : Distribution du coefficient de sécurité obtenu dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul avec un coefficient minimal égal à 2 pour la clavette disque...	49
Figure III.13 : Déplacement dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul pour la clavette parallèle.....	49

Figure III.14 : Déplacement dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul pour la clavette disque.....50

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques de la tondeuse Garland 139cc ohv.....	7
Tableau II.1 : Dimensions des clavettes vélo.....	14
Tableau II.2 : Dimensions des clavettes inclinées à talon	16
Tableau II.3 : Types des clavettes parallèles ordinaires	21
Tableau II.4 : Dimensions des clavettes parallèles ordinaires	22
Tableau II.5 : Ajustement arbre/moyeu	23
Tableau II.6 : Ajustement arbre/clavette et clavette/moyeu	23
Tableau II.7 : Forme des rainures des clavettes parallèles ordinaires	23
Tableau II.8 : Clavette parallèle fixée par vis	24
Tableau II.9 : Dimensions des clavettes parallèles fixées par vis	25
Tableau II.10 : Dimensions et tolérances des clavettes disques	26
Tableau II.11 : Pression admissible	27
Tableau II.12 : Les normes de l'acier 42 Cr Mo 4	35
Tableau II.13 : Composition chimique de l'acier 42 Cr Mo 4	35
Tableau II.14 : Caractéristique mécanique de l'acier 42 Cr Mo 4... ..	35

Introduction Générale

La tondeuse à gazon a été inventée par le britannique Edwin Beard Budding en 1830, à l'aube de la civilisation des loisirs.

Le besoin d'une telle machine s'est accru après l'invention en Grande-Bretagne de plusieurs sports se jouant sur des surfaces en herbe tels que le cricket, le golf, le football et le rugby.

La tondeuse à gazon manuelle ou motorisée est une machine qui sert à couper l'herbe des gazons et pelouses de manière à obtenir une surface d'une hauteur régulière et à réduire la hauteur de l'herbe.

De nos jours il existe plusieurs types de tondeuses à gazon, tondeuse sans moteur, tondeuse à moteur thermique et tondeuse à moteur électrique.

Dans notre étude nous nous allons nous pencher sur la tondeuse à moteur thermique et sur un problème que la machine rencontre au niveau du moteur (problème de démarrage) qui s'agit sur la cassure et abîment (déformation) de la clavette. Celle-ci assure le lien entre la lame et le moteur, quand la lame de la machine rencontre un obstacle dans l'herbe, la clavette va absorber le choc pour ne pas que des dégâts plus conséquent viennent à abîmer le moteur.

Le moteur ne démarre pas quand la clavette est déformée car le volant moteur est légèrement décalé et l'allumage ne se fera pas correctement.

L'objectif de notre travail est d'étudier la clavette afin d'améliorer sa résistance et sa durée de vie, on va dimensionner la clavette et on va déterminer le matériau idéal à la fabrication de la clavette et on va le simuler sur un logiciel de simulation qui s'agit de solidworks.

Afin de pouvoir mener notre travail à terme, nous avons jugé méthodique de le structurer en le répartissant en trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré à l'étude de la machine (tondeuse à gazon thermique) ce qui nous permettra de présenter tous les éléments constitutifs de cette machine pour bien comprendre son fonctionnement.

Dans le deuxième chapitre, nous allons faire une étude et une conception des clavettes, ce qui constitue une recherche sur les matériaux, plus exactement 42CrMo4 que nous allons utiliser dans la fabrication de notre clavette, le trempe de l'acier, C'est une méthode que nous allons adopter pour le traitement thermique de 42CrMo4, la dernière étape de ce chapitre sera la simulation numérique de la clavette.

Le troisième chapitre représentera la dernière étape de notre travail qui consistera à une étude de conception et simulation assistée par ordinateur des clavettes.

Chapitre I

Généralités sur la tondeuse à gazon à moteur thermique

Généralités sur la tondeuse à gazon à moteur thermique

I.1. Introduction

La tondeuse à gazon thermique est aussi appelée tondeuse à essence puisque, qu'elle soit poussée ou tractée, elle fonctionne avec un moteur à 4 temps (les 2 temps deviennent rares) cet outil est équipé d'un moteur alimenté par du carburant et de l'huile nécessaire à son fonctionnement. Elle permet de tailler et de dessiner la pelouse pour un résultat plus esthétique.

Au sein de notre université on dispose du modèle Garland 139cc ohv.



Figure I.1 : Tondeuse à gazon Garland 139cc ohv

I.1.1 Description détaillée de la tondeuse à gazon Garland 139cc ohv [1]

1. Guidon supérieur
2. Barre de l'interrupteur de sécurité
3. Levier d'air
4. Sac
5. Couverture de la sortie arrière
6. Levier de réglage de la hauteur
7. Bouchon de réservoir
8. Couvercle du filtre à air
9. Silencieux
10. Bouchon de remplissage d'huile
11. Lanceur de démarrage
12. Papillon
13. Guidon inférieur
14. Poignée du couvercle du bac
15. Barre de traction

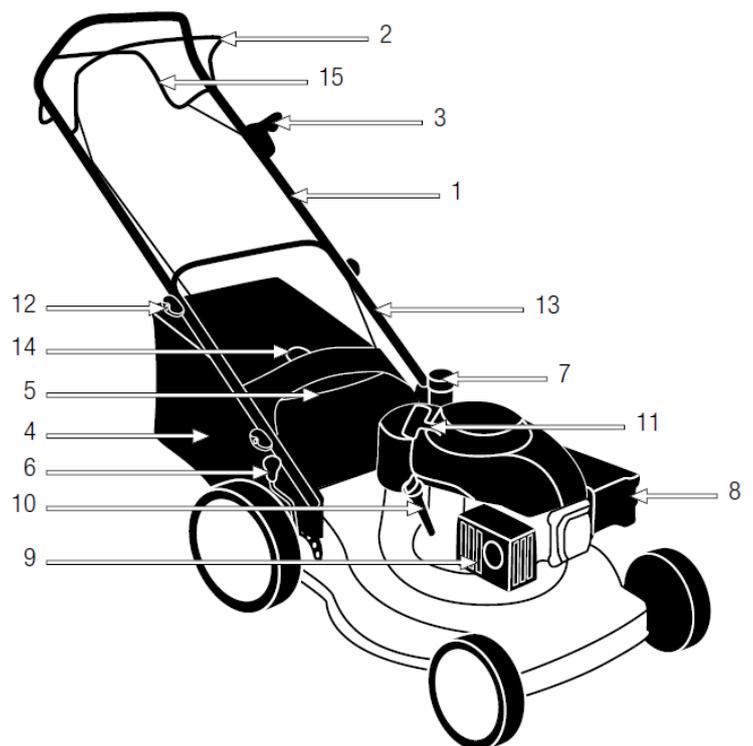


Figure II.2 : Les éléments constituant la tondeuse à gazon Garland 139cc ohv

I.2. Nomenclature du moteur de la machine

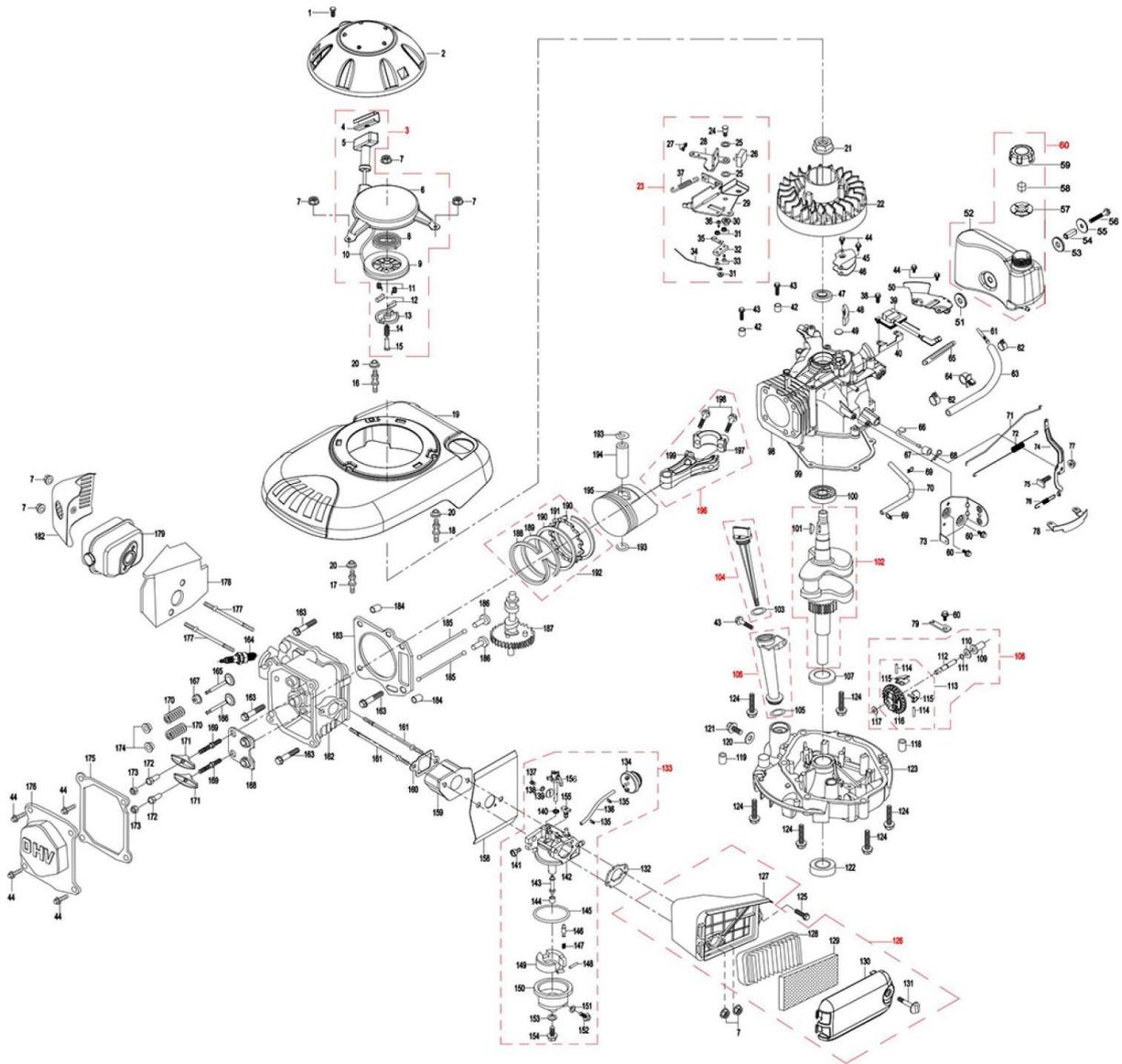


Figure III.3 :Vue éclatée du moteur de la tondeuse à gazon Garland 139cc ohv

I.3. Caractéristiques de la machine [1]

Comme la machine n'a pas de « fil à pate », elle permet de tondre assez loin de la maison, ce qui la prédispose à une utilisation pour les vastes pelouses, d'autant qu'elle est plus puissante que les tondeuses électriques, mais par contre elle est plus bruyante. En outre elle demandera d'avantage d'entretien car ce qui dit moteur, dit vidange etc...

Nous avons là, dans ce tableau ci-dessous les caractéristiques de notre machine qui se trouve au niveau du hall de technologie de l'université de Bejaia.

Tableau I.1 Caractéristiques de la tondeuse Garland 139cc ohv

Description	Tondeuse
Marque	Garland
Modèle	GRASS 755 SG
Moteur	4 temps
Cylindrée (cm ³)	139
Puissance (kW)	2,6
Régime de rotation maximal du moteur (min ⁻¹)	3.000
Consommation de carburant à puissance maximale (g/h)	776
Hauteur de coupe (mm)	25-75
Traction	Oui
Diamètre de coupe (cm)	456
Dimensions du sac à ramassage (l)	50
Capacité d'huile du carter (l)	0,6
NNiveau de vibration (m/s ²)	4,172
Niveau de pression sonore LpA (dB(A))	75,85
Niveau de puissance acoustique garanti Lw(dB(A))	96
Poids à sec (kg)	36

I.4. Fonctionnement de la machine

I.4.1 Fonctionnement avec lame ventrale :

la méthode de fonctionnement la plus courante des tondeuses thermiques concerne celle disposant d'une lame ventrale. Un écrou vissé sur l'axe vertical du moteur fixe la lame de coupe en position horizontale. Lorsque le moteur est lancé, le mouvement de rotation rapide de la lame, identique aux pales d'un hélicoptère, taille l'herbe suivant la hauteur du carter de protection. Le niveau d'affûtage de la lame définira la netteté de la coupe. En plaçant une lame dédiée, on peut effectuer un mulching avec une tondeuse thermique à lame ventrale. Le principal avantage se situe au niveau de l'espace entre chaque tonte.

I.4.2 Fonctionnement avec lame hélicoïdales :

Le deuxième système de coupe fonctionne selon le principe des lames hélicoïdales. Les brins d'herbe passent entre des lames d'acier torsadées, assemblées de manière à former un rouleau horizontal. Celui-ci agit de la même façon que des cisailles pour un résultat de coupe de bonne qualité. Il s'agit d'ailleurs de la méthode de coupe la plus ancienne, déjà utilisée depuis les premières tondeuses manuelles. La visibilité des lames permet en outre de suivre précisément la tonte en cours. Cependant, le meilleur résultat dépend du nombre de passages, et le principe des lames hélicoïdales nécessite des travaux plus fréquents.

I.4.3 Fonctionnement avec lames hélicoïdales ou ventrales :

Un autre principe de coupe reprend les deux méthodes précédentes, à savoir l'utilisation de lames ventrales ou hélicoïdales. La différence se situe au niveau de l'emplacement du système de coupe. Lorsque celui-ci est placé bien à l'avant de la machine, on la qualifie alors de tondeuse thermique frontale. Le modèle frontal à lames hélicoïdales permet de couper le gazon avant que celui-ci ne soit touché par d'autres éléments de la machine. Il en résulte un rendu de très bonne qualité, avec un gazon coupé ras et à l'esthétique homogène. Il en est essentiellement de même avec la tondeuse frontale à lame ventrale, sachant que le conducteur peut ainsi voir exactement le passage de la lame. Contrairement au principe hélicoïdal, le ventral dispose généralement d'un bac de ramassage à l'arrière pour récupérer l'herbe coupée. Compte tenu de la qualité de finition, la tondeuse thermique frontale autoportée se destine surtout pour un usage professionnel, dans le traitement d'un green de golf par exemple.

I.5. Conclusion

Il s'agit d'un matériel de jardinage qui permet de tailler et de dessiner la pelouse pour un résultat plus esthétique. Il existe de nombreux modèles, mais les caractéristiques diffèrent en fonction de l'usage pour lequel est destiné. Toutefois, les principes de base restent quasiment identiques, même si on a généralement le choix entre trois types de tondeuses thermiques (poussée, autotractée et autoportée). Le niveau de finition démontre la différence entre les divers principes de coupe.

Chapitre II

Étude et conception des clavettes

Étude et conception des clavettes

II.1 Introduction

II.1.1 Les clavettes

Les clavettes sont des éléments de machine intercalées entre des surfaces planes ou plus souvent entre un arbre et un moyeu .elle transmettent les efforts principalement par emboîtement. Leur section transversal et carrée ou rectangulaire. Les clavettes d'arbres nécessitent la fabrication de deux rainures, l'une dans l'arbre, l'autre dans le moyeu elles servent a transmettent un couple de torsion de l'arbre vers le moyeu ou dans le sens inverse.

La fabrication des pièces à section rectangulaire et de rainures positionnées correctement dans l'arbre et le moyeu, est une opération difficilement réalisable avec grande précision [3].

II.1.2 Clavetage

Dans l'assemblage des arbre-moyeu, l'organe mécanique le plus souvent rencontré est La clavette. La Figure II. 1 présente, à l'aide d'un montage éclaté, un arbre-moyeu clavetté où la clavette est représentée par la pièce 3. La rainure sur l'arbre (pièce 2) peut être exécutée par une fraise-doigt ou avec une fraise-disque. La rainure du moyeu (pièce 1) s'obtient par mortaisage, à moins que l'on ne réalise l'alésage rainuré par brochage [2].

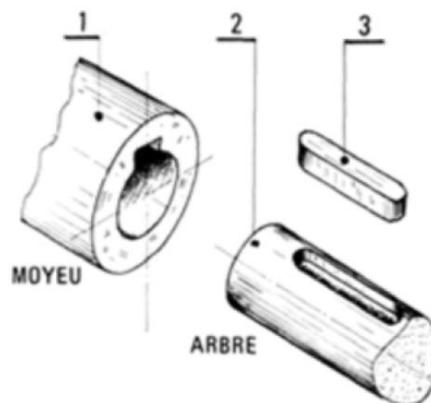


Figure II.1. Clavetage.

II.1.3 Classification du clavetage

Selon le mode d'emplois et le montage .le clavetage peut être classifié en trois grandes familles (Figure II.2).

- Le clavetage transversal ou les clavettes sont montées perpendiculairement avec l'axe des pièces assemblées.
- Le clavetage longitudinal ou les clavettes sont montées parallèlement sur l'axe des pièces assemblées.
- Le clavetage tangentielle ou les clavettes sont montées radialement sur la tangente de la surface de contact entre les pièces.

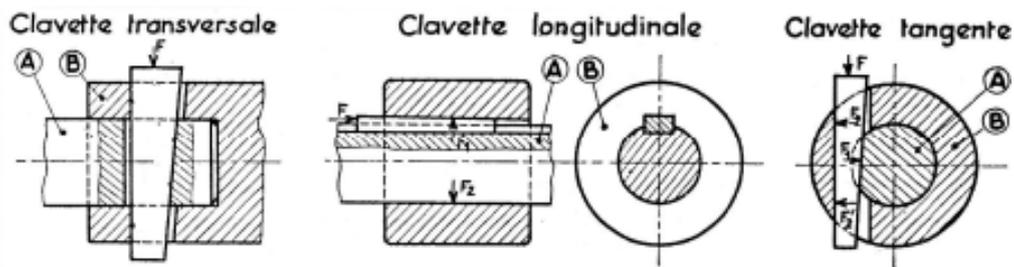


Figure II.2. Types de clavetages

Les clavettes longitudinales présente la classe la plus utilisée en construction mécanique selon l'emploi, on distingue deux types : le clavetage longitudinal forcé et le clavetage longitudinal libre [2].

II.1.3.1 Clavetage transversal

Cette technique est utilisée pour immobiliser en retâtions deux pièces généralement coaxial .la liaison obtenue peut transmettre de grands efforts axiaux et des couples assez importants [2].

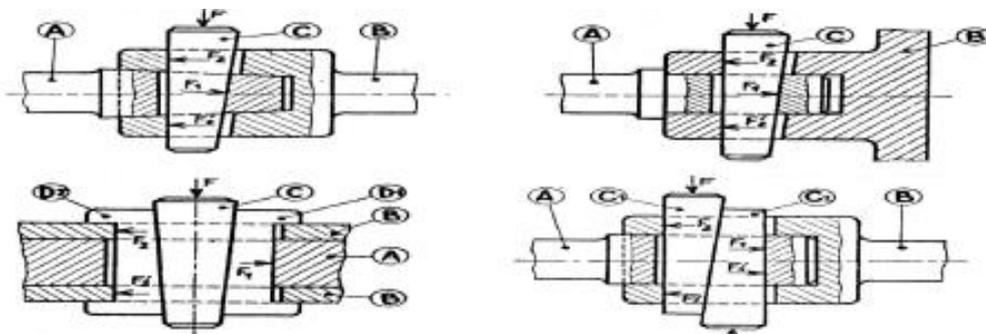


Figure II.3. Clavetage transversal

II.1.3.2 Clavetage tangentiel

Ce type de clavetage est utilisé pour les applications plus ou moins simples. Il permet d'obtenir une liaison complète dont le couple transmis est faible. La figure II.4 présente l'exemple du clavetage de pédale d'un vélo [2].

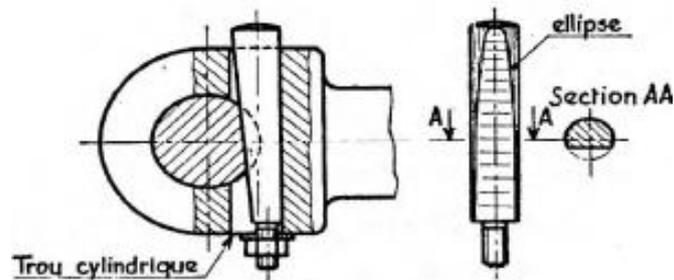


Figure II.4. Clavetage tangentiel.

Les types de clavette utilisée

a) Clavettes rondes

Ces clavettes sont composées d'un cylindre arrondi à ses deux extrémités et d'un plat ayant une pente de 10%.

Le maintien en position de la clavette dans son logement, un trou lisse de diamètre d , est assuré par adhérence [4].

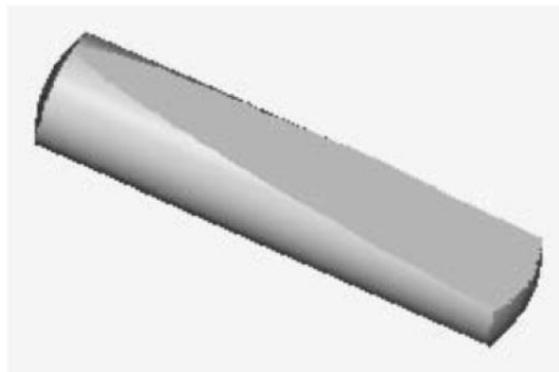


Figure II.5. Clavette ronde.

b) Clavettes vélo

Ces clavettes sont nommées de cette manière car leur emploi principal est pour obtenir la liaison fixe entre le pédalier avec son axe [4].

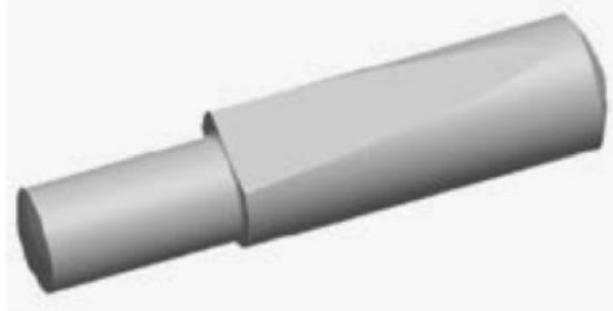


Figure II.6. Clavette vélo.

Tableau II.1. Dimensions des clavettes vélo.

D h10	a	B	c	$e \pm 0,1$	f	p	R
7	12	25	M 5x0,80	0,7	5,8	5 %	6
9	14	26	M 7x1,00	0,8	7,45	7 %	7,5
12	18	45	M 8x1,25	1,5	9	8 %	10
16	22	60	M 10x1,25	2,0	12	8 %	13

Désignation des clavettes vélo : clavette de 9 NF ISO 6693

II.1.3.3 Clavetage longitudinal

Les clavettes longitudinales ont leurs faces principales parallèles à l'axe de l'arbre, on distingue deux types de clavetage longitudinal.

II.1.3.3.1 Clavetage longitudinal forcé

Dans ce type de clavetage, on utilise les clavettes inclinées. La liaison arbre-moyeu est obtenue, dans ce cas, par coincement des faces inférieures et supérieures sur ses portées avec l'arbre et le moyeu. L'inconvénient de ce clavetage est le désaxage léger du moyeu par rapport à l'arbre dû à l'effort radial. L'avantage est l'obtention d'une liaison complète (élimination de translation et de rotation) [2].

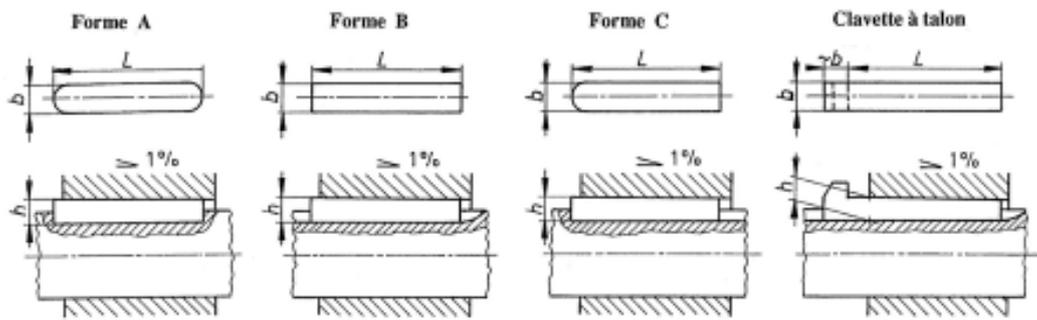


Figure II.7. Clavettes inclinées

Les types de clavettes utilisés

a) **Clavettes inclinées sans talon** : le coincement est obtenu en exerçant un effort sur L'arbre ou sur le moyeu [4].



Figure II.8. Clavette inclinée sans talon

- **Avantage** : Le moyeu peut être placé axialement n'importe où sur l'arbre ;
- ce montage ne nécessite pas d'épaulement.
- **Inconvénient** : cette liaison crée un désaxage du moyeu par rapport à l'arbre.

b) **Clavettes inclinées à talon** : le coincement est obtenu en exerçant un effort Directement sur la clavette. Le talon permet de faciliter le démontage.



Figure II.9. Clavette inclinée à talon

Tableau II.2. Dimensions des clavettes inclinées à talon.

A	4	5	6	8	10	12	14	16	18
B	4	5	6	7	8	8	9	10	11
H	7	8	10	11	12	12	14	16	18
S	0,2	0,3			0,5				
L	8 à 40	10 à 50	14 à 70	18 à 90	22 à 120	28 à 140	35 à 160	45 à 180	50 à 200

A	20	22	24	25	28	32	36	40
B	12	14	14	14	16	18	20	22
H	20	22	22	22	25	28	32	36
S	0,7						1,1	
L	55 à 220	60 à 240	70 à 260	70 à 280	80 à 300	90 à 320	100 à 360	240 à 400

s : valeur du chanfrein, non représenté sur les dessins.

L : valeurs de la longueur : 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 18 – 20 – 22 – 26 – 28 – 30 – 35 – 40 – 45 – 50 – 60 – 70 – 80 – 90 – 100 – 120 – 140 – 160 – 180 – 200 – 220 – 240 – 260 – 280 – 300 – 320 – 340 – 360 – 380 – 400 mm.

- **Désignation**

Clavette inclinée à talon a x b x L NF E 22-178.

Clavette inclinée, forme A, a x b x L NF E 22-178.

II.1.3.3.2 Clavetages longitudinal libre

Dans ce cas, on utilise les clavettes parallèles. Ce type de clavettes n'assure que la liaison en rotation, l'arbre peut coulisser dans le moyeu. Leur montage se fait avec un léger jeu ce qui diminue la précision cinétique. Elles sont utilisées que pour le clavetage cours ($d < 1,5d$) Pour certaines applications, notamment dans le cas des fréquences de rotation très élevées, il est nécessaire de coller les clavettes (Figure II.10).

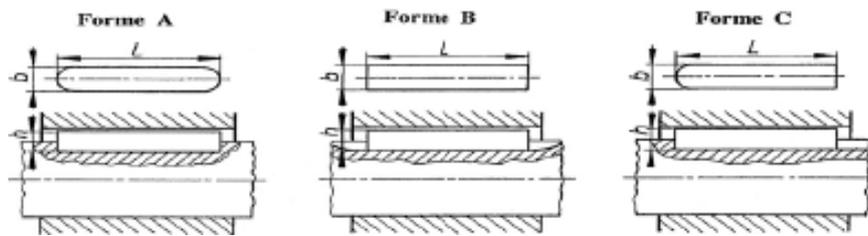


Figure II.10. Les clavettes parallèles ordinaires.

Dans d'autres cas, on utilise le clavetage long dans ces applications, les clavettes doivent être fixées par vis pour la fixation, les clavettes de forme A et B sont munies de trois trous alignés sur leurs longueurs dont celui de milieu est taraudé. Ce dernier est utilisé pour le démontage (Figure II.11).

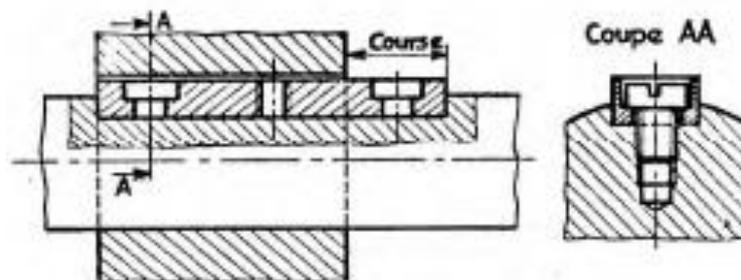


Figure II.11. Clavette parallèle fixée par vis.

Ce mode d'assemblage convient pour le clavetage où $d < l < 2,5.d$ et en particulier s'il y a pendant la rotation un déplacement relatif du moyeu par rapport à l'arbre.

Dans le cas des arbres de faible diamètre transmettant de moyens et faibles efforts ou pour les arbres coniques, on utilise les clavettes disque ou les clavettes bateau.

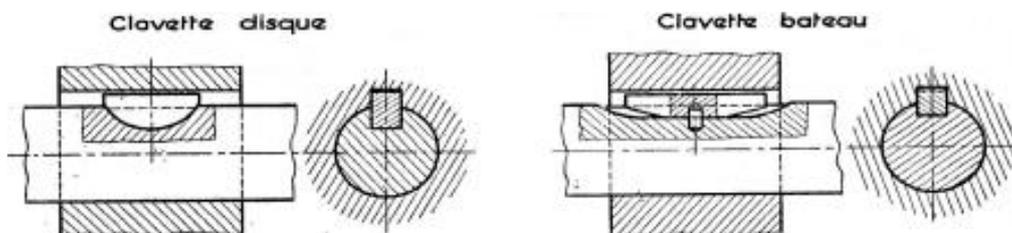


Figure II.12. Clavette disque et clavette bateau.

L'usinage du logement de ces clavettes est plus ou moins simple en utilisant une fraise-disque. Cette opération peut affaiblir la résistance de l'arbre, mais le montage de ces clavettes reste le plus simple par rapport aux autres [2].

c) Les bouts d'arbres

Les bouts d'arbre des machines tournantes (moteurs, pompes, compresseurs, Réducteurs...) doivent respecter la normalisation [4].

d) Les bouts d'arbres cylindriques

Deux bouts d'arbres cylindriques sont normalisés : NF E 22-051 pour la série longue, recommandée, et NF E 22-052 pour la série courte.

Tolérances sur d

j6 pour $d \leq 30$ mm

k6 pour $30 \leq d < 32$ mm

m6 pour $55 \leq d < 130$

e) Les bouts d'arbres coniques

Deux bouts d'arbres coniques sont normalisés : NF E 22-054 pour la série longue, recommandée, et NF E 22-055 pour la série courte.

Deux systèmes filetés permettent d'assurer le maintien de la liaison : la vis et l'écrou.

- **Maintien par vis :**

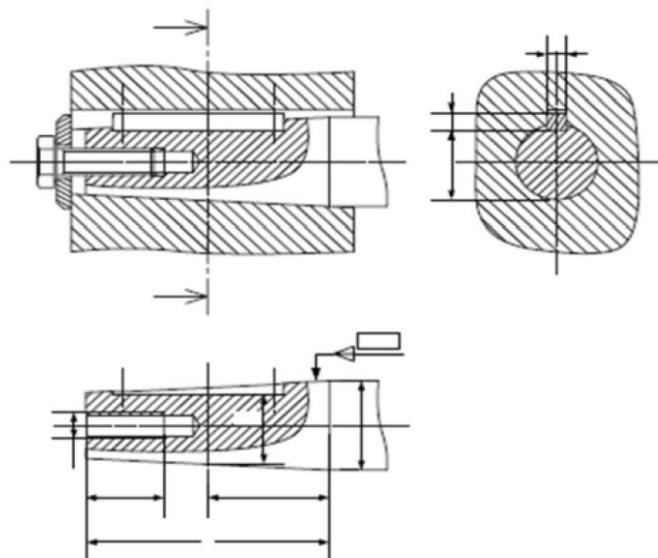


Figure II.13. Maintien par vis.

- **Maintien par écrou :**

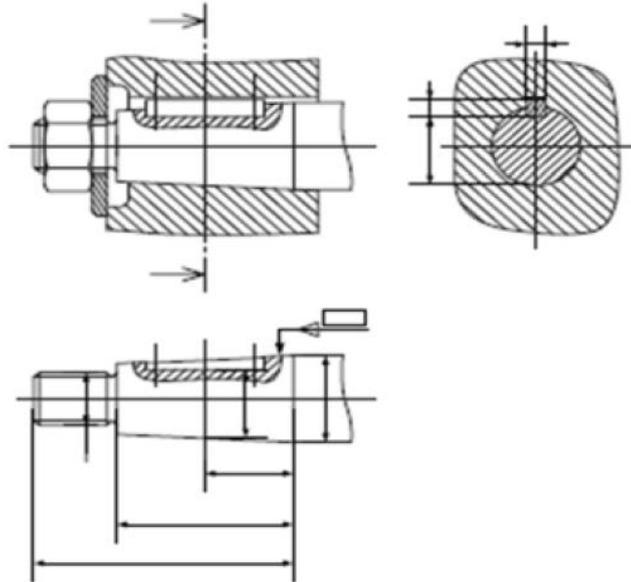


Figure II.14. Maintien par écrou

II.1.4 Clavetage par clavettes parallèles

II.1.4.1 Définition du clavetage parallèle

Le plus courant des procédés d'assemblage d'un moyeu sur un arbre et la Clavette parallèle. La rainure peut être exécutée par une fraise-doigt ou avec une fraise-disque (Figure 29). Ce dernier procédé conduit à des concentrations de contrainte en flexion plus faibles. La rainure du moyeu s'obtient par Mortaisage, à moins que l'on ne réalise l'alésage rainuré par brochage. Il est également possible de travailler par électroérosion [5].

La clavette réalise exclusivement la fixation tangentielle (reprise du moment).

La fixation axiale doit être obtenue par un autre moyen :

- Une vis de pression.
- Un montage serré (H7/k6 ...m6).

- Des circlips ou des écrous.
- Un épaulement de l'arbre et un circlips ou un écrou.

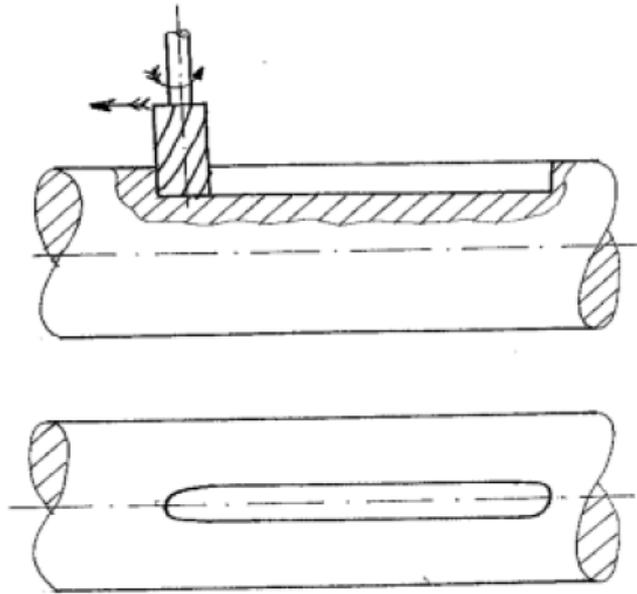


Figure II.15. Rainure exécutée à la fraise-doigt

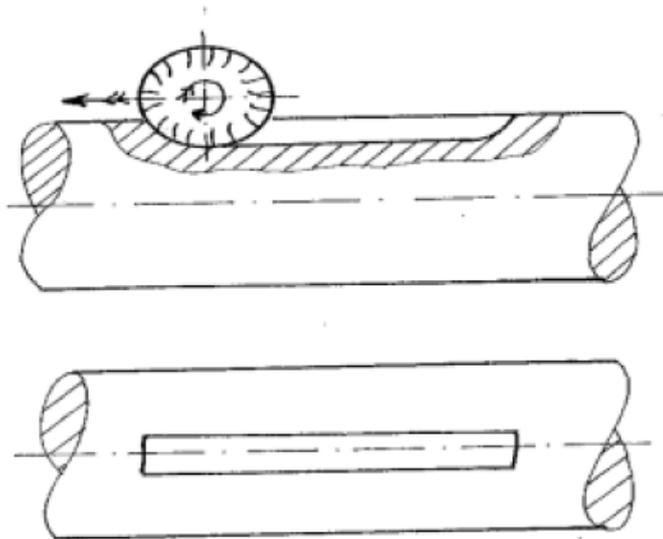


Figure II.16. Rainure exécutée à la fraise-disque

II.1.4.2 Clavettes parallèles ordinaires

Elles sont utilisées pour le clavetage court, c'est-à-dire quand $L < 1,5.d$. Elles existent en trois types selon la forme des extrémités [4].

Tableau II.3. Types des clavettes parallèles ordinaires.

Forme A	Forme B	Forme C
		

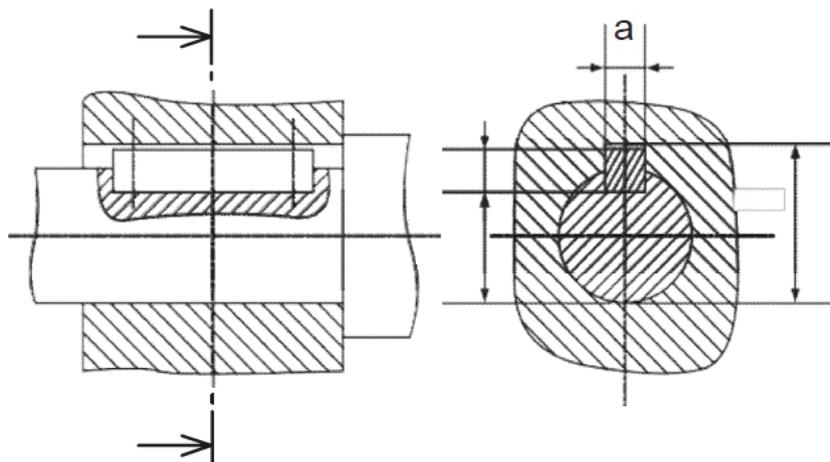


Figure II.17. Clavettes parallèles ordinaires

Tableau II.4. Dimensions des clavettes parallèles ordinaires.

<i>d</i>	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>S</i>	<i>j</i>	<i>K</i>
De 6 à 8 inclus					
8 à 10	2	2	0,16	$d - 1,2$	$d + 1$
10 à 12	3	3	0,16	$d - 1,8$	$d + 1,4$
12 à 17	4	4	0,16	$d - 2,5$	$d + 1,8$
17 à 22	5	5	0,25	$d - 3$	$d + 2,3$
22 à 30	6	6	0,25	$d - 3,5$	$d + 2,8$
30 à 38	8	7	0,25	$d - 4$	$d + 3,3$
38 à 44	10	8	0,4	$d - 5$	$d + 3,3$
44 à 50	12	8	0,4	$d - 5$	$d + 3,3$
50 à 58	14	9	0,4	$d - 5,5$	$d + 3,8$
	16	10	0,6	$d - 6$	$d + 4,3$
58 à 65	18	11	0,6	$d - 7$	$d + 4,4$
65 à 75	20	12	0,6	$d - 7,5$	$d + 4,9$
75 à 85	22	14	1	$d - 9$	$d + 5,4$
85 à 95	25	14	1	$d - 9$	$d + 5,4$
95 à 110	28	16	1	$d - 10$	$d + 6,4$
110 à 130	32	18	1	$d - 11$	$d + 7,4$
130 à 150	36	20	1,6	$d - 12$	$d + 8,4$
150 à 170	40	22	1,6	$d - 13$	$d + 9,4$
170 à 200	45	25	1,6	$d - 15$	$d + 10,4$
200 à 230	50	28	1,6	$d - 17$	$d + 11,4$

Désignation : clavette parallèle, forme A, a x b x L NF E 22-177

s : Valeur du chanfrein à 45°, non représenté sur les dessins.

L : Les longueurs(en mm) sont à choisir dans le tableau des dimensions normalisées établi par le capitaine Renard.

A : Les sections (en mm) sont à choisir dans le tableau des dimensions normalisées établi par le capitaine Renard.

b : Les hauteurs (en mm) sont à choisir dans le tableau des dimension normalisées établi par le capitaine Renard.

J et **k** : le diamètre (en mm) de l'arbre moins et plus la hauteur de la rainure.

II.1.4.2.1 Cotation de l'arbre et du moyeu des clavettes parallèles ordinaires

L'ajustement arbre/moyeu peut être choisi le Tableau II.5.

Tableau II.5. Ajustement arbre/moyeu.

Liaison	Ajustement	Symbole
Liaison encastrement	de précision courante	H8 e8
	à jeu réduit (équilibrage)	H8 h8
	précis avec montage manuel	H7 g6
	fretté avec clavette de sécurité	H7 p6
Liaison glissière	de qualité courante	H8 e8
	de qualité soignée	H7 f7

Les ajustements arbre/clavette et clavette/moyeu peuvent être choisis le tableau II.6.

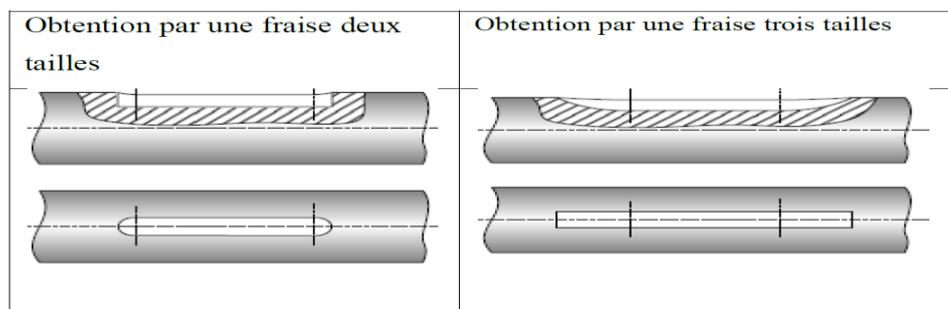
Tableau II.6. Ajustement arbre/clavette et clavette/moyeu.

Clavetage	Libre	Normal	Serré
arbre/clavette	H9 h9	N9 h9	P9 h9
clavette/moyeu	D10 h9	J9 h9	P9 h9

II.1.4.2.2 Forme des rainures des clavettes parallèles ordinaires:

Selon les modes d'obtention, les rainures dans l'arbre ont des formes différentes

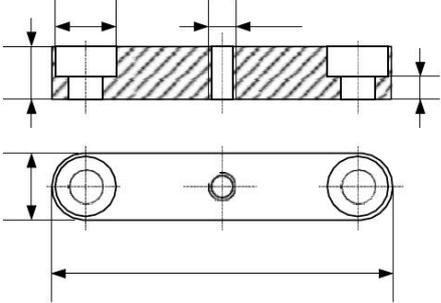
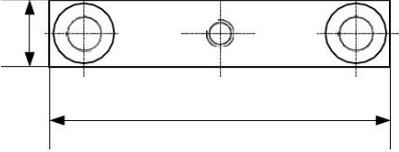
Tableau II.7. Forme des rainures des clavettes parallèles ordinaires.



II.1.4.3 Clavette parallèle fixée par vis

Ces clavettes conviennent pour des clavetages longs : $d < L < 1,5.d$.

Tableau II.8. Clavette parallèle fixée par vis.

Forme A	Forme B
	
	

Ces clavettes sont fixées par deux vis à tête cylindriques à six pans creux. Les chanfreins à 45° ne sont pas représentés sur les dessins.

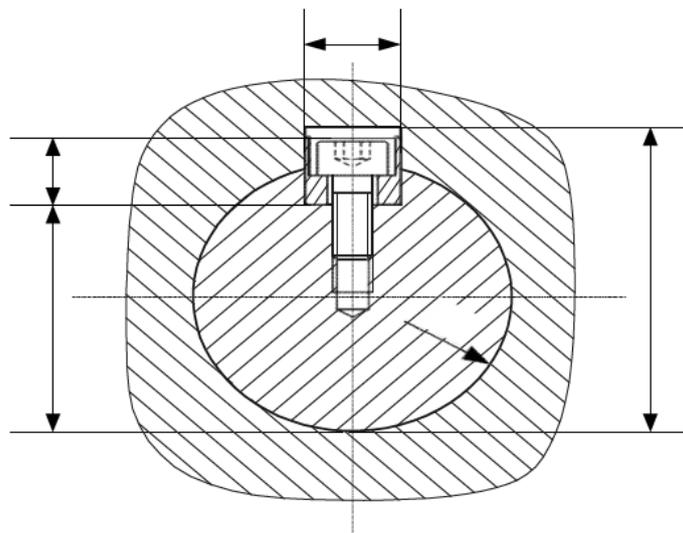


Figure II.18. Clavette parallèle fixée par vis

Pour leur démontage, il suffit de visser une des deux vis dans le trou taraudé central. Cette opération aura pour effet de décoller la clavette de son logement.

Tableau II.9. Dimensions des clavettes parallèles fixées par vis.

D	a	B	e	f	j	k	Vis
De 17 à 22 inclus	6	6	3	4,5	$d - 3,5$	$d + 2,8$	M 2,5-6
22 à 30	8	7	3,5	6,5	$d - 4$	$d + 3,3$	M 3-8
30 à 38	10	8	3,5	9	$d - 5$	$d + 3,3$	M 4-10
38 à 44	12	8	2,5	10,5	$d - 5$	$d + 3,3$	M 5-10
44 à 50	14	9	2,5	11,5	$d - 5,5$	$d + 3,8$	M 6-10
50 à 58	16	10	3,5	10,5	$d - 6$	$d + 4,3$	M 6-10
58 à 65	18	11	3,5	14,5	$d - 7$	$d + 4,4$	M 8-12
65 à 75	20	12	3,5	13,5	$d - 7,5$	$d + 4,9$	M 8-12
75 à 85	22	14	3,5	14,5	$d - 9$	$d + 5,4$	M 10-12
85 à 95	25	14	3,5	14,5	$d - 9$	$d + 5,4$	M 10-12
95 à 110	28	16	5,5	16,5	$d - 10$	$d + 6,4$	M 10-16

Désignation : clavette fixée a x b x L NF E 22-181

II.1.4.4 Clavette disque

Elle est utilisée pour des arbres de petit diamètre transmettant de faibles couples.

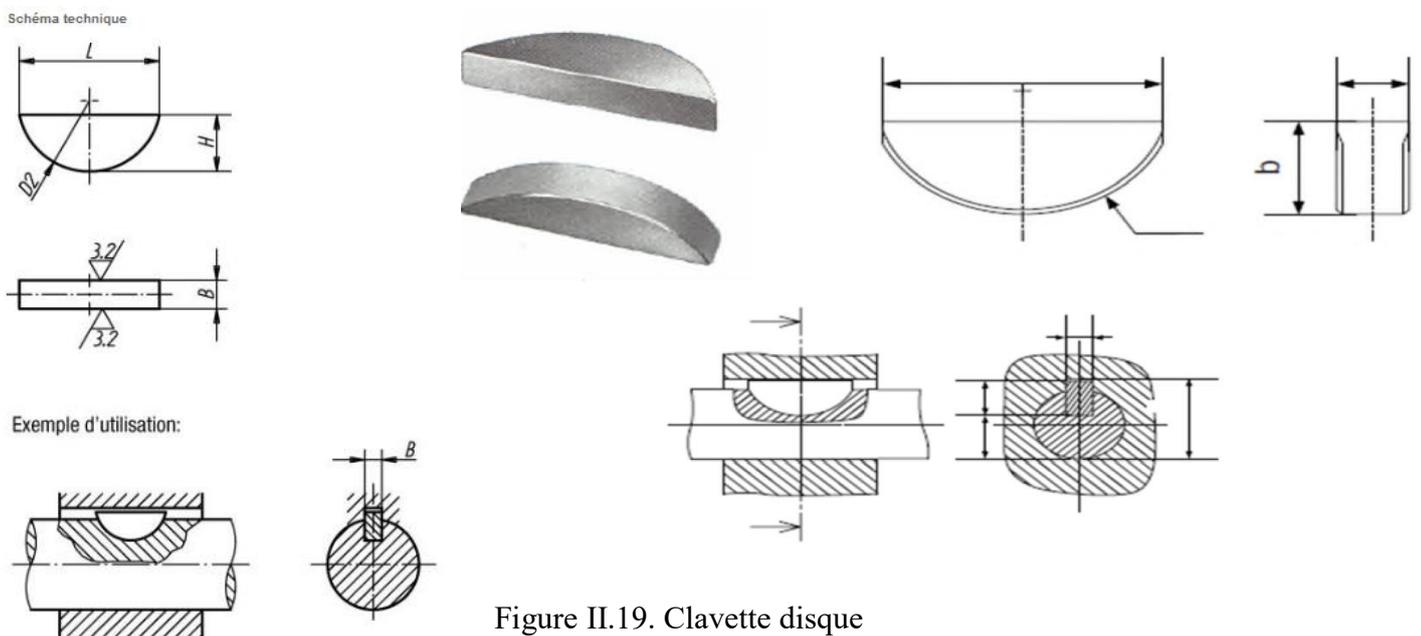


Figure II.19. Clavette disque

Les chanfreins à 45° ne sont pas représentés sur les dessins

Tableau II.10. Dimensions et tolérances des clavettes disques.

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>j</i>	<i>K</i>		
Sur la clavette	a h9	1,5	2,6	7	6,5	d - 1,8	d + 0,9	
	b h11	2	2,6	7	6,5	d - 1,8	d + 0,9	
	c h11	3	2,5	3,7	10	9	d - 2,7	d + 1,1
	e h11		3,7	10	9	d - 2,7	d + 1,2	
Sur l'arbre	a P9	4	5	13	11,5	d - 4	d + 1,2	
	j h11		6,5	16	15	d - 5,5	d + 1,2	
Sur le moyeu	a E9	5	5	13	11,5	d - 3,5	d + 1,8	
	k		6,5	16	15	d - 5	d + 1,8	
	H13	6	7,5	19	17,5	d - 6	d + 1,8	
			9	22	20,5	d - 7	d + 2,3	
8			6,5	16	15	d - 4,5	d + 2,3	
			7,5	19	17,5	d - 5,5	d + 2,3	
			9	22	20,5	d - 6,5	d + 2,8	
			10	25	23	d - 7,5	d + 2,8	
			11	28	25,5	d - 8,5	d + 2,8	
			13	32	30	d - 10,5	d + 2,8	
			11	28	25,5	d - 8	d + 3,3	
			13	32	30	d - 10	d + 3,3	

Désignation : clavette disque de a x b NF E 22-179

II.1.4.5 Détermination d'une clavette parallèle

Les deux principaux problèmes liés à la définition d'un clavetage par clavette parallèle sont :

-La tenue de la clavette lors de la transmission du couple.

-L'assemblage des éléments (arbre, clavette, moyeu).

La tenue de la clavette est assurée par une condition de non matage qui détermine la longueur minimale de la partie rectiligne de la clavette. Les dimensions transversales, normalisées, sont associées à la valeur du diamètre de l'arbre. L'assemblage des éléments est permis par les conditions de fabrication imposées par une cotation de l'arbre et du moyeu en application du maximum de matière [6].

II.1.4.6 Longueur de contact clavette /moyeu

La pression sera supposée uniformément répartie sur la surface S de contact entre la clavette et le moyeu. La pression moyenne sera calculée par la formule [4].

$$P = \frac{F}{S} \text{ avec } F = \frac{Ct}{d/2}$$

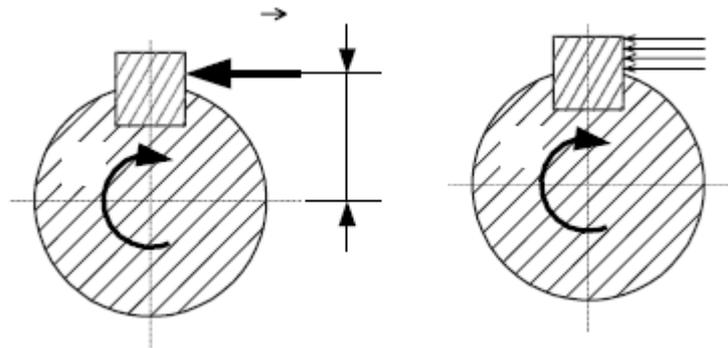


Figure II.20. Clavette parallèle

Cette pression doit vérifier l'inéquation $p \leq p_{adm}$ telle que p_{adm} est la pression admissible. La pression admissible en MPa, pour des matériaux dont la résistance minimale à la Traction est de 600 MPa, est donnée dans le Tableau II.11 :

Tableau II.11. Pression admissible.

Conditions de fonctionnement	Utilisations	Pression admissible <i>en MPa</i>		
		Encastrement <i>en MPa</i>	Glissière	
			Glissant sans charge <i>en MPa</i>	Glissant avec charge <i>en MPa</i>
Mauvaises conditions : chocs, vibrations, tolérances larges	Concasseurs Véhicules tous terrains	40 à 70	15 à 30	3 à 10
Conditions moyennes	Mécanique courante	60 à 100	20 à 50	5 à 15
Très bonnes conditions	Mécanique de precision	80 à 150	30 à 50	10 à 20

II.1.4.7 Calcul d'une clavette [7]

a) Soit une clavette demi disque de type b, utilisée pour la liaison en rotation d'un moyeu sur un arbre.

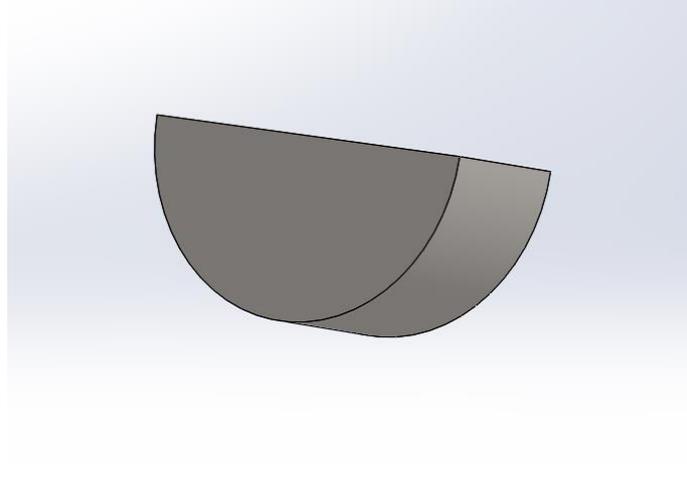


Figure II.21. Clavette demi disque

Appelons : d le diamètre de l'arbre (en mm)

P la puissance à transmettre (en W)

ω La vitesse de rotation (en rad /s)

$$P = 2600 \text{ W}$$

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$N = 3000 \text{ tr /min}$$

- Le couple transmis :

$$Mt = \frac{P}{\omega} \text{ (en N.m)}$$

$$\omega = 2\pi \times \frac{N}{60}$$

$$\omega = 314,16 \text{ rad/s}$$

$$Mt = 8,28 \text{ N.m}$$

$$Mt = F \times \frac{d}{2} \rightarrow F = \frac{2Mt}{d}$$

$$F = 662,4 \text{ N}$$

Avec la force exercée sur la clavette, cette force engendre des contraintes de compression et des contraintes de cisaillement.

- La contrainte de cisaillement :

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{F}{(\pi \times r^2)/2}$$

$$\tau = 11,71 \text{ N/mm}^2$$

r : rayon de la clavette

- La contrainte de compression :

$$\sigma = \frac{2F}{L \times b}$$

$$\sigma = 18,4 \text{ N/mm}$$

L : longueur de la clavette

b : Hauteur de la clavette

- La condition de résistance au cisaillement

$$\tau \leq R_{pg} \text{ avec } R_{pg} = \frac{R_{eg}}{s} \text{ avec}$$

- R_{pg} = résistance pratique élastique au glissement (ou cisaillement)
- s = coefficient de sécurité (généralement égal à 2)
- $R_{eg} = 0,5 \text{ à } 0,8 R_e$ avec R_e = Résistance élastique à la traction

$$\rightarrow R_{pg} = \frac{0,8 \times 750}{2} = 300 \text{ N/mm}^2$$

$$11,71 \leq 300 \text{ N/mm}^2$$

- La condition de résistance au matage

Pour qu'une clavette résiste au matage, il faut que la pression de matage P_m soit inférieure ou égale à la pression admissible P_a .

$$P_m = \frac{F}{S_m} < P_a$$

Surface matée S_m

$$S_m = \frac{b}{2} \times L$$

avec

b = hauteur de la clavette en mm

L = longueur de la clavette en mm

Effort appliqué sur la clavette F

$$F = \frac{C}{R}$$

avec

C = couple de rotation de l'arbre en N mm

R = rayon de l'arbre en mm

Pression admissible P_a

Clavetage glissant sous charge : 2 à 20 MPa

Clavetage glissant sans charge : 20 à 50 MPa

Clavetage fixe (cas le plus fréquent) : 40 à 150 MPa

Application numérique :

$$P_m = \frac{662,4}{36} = 18,4 \text{ N/mm}$$

$$18,4 < 150$$

b) Soit une clavette parallèle de forme B, utilisée pour la liaison d'un moyeu sur un arbre

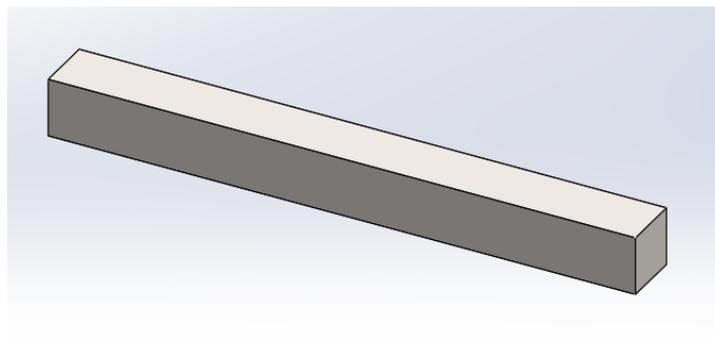


Figure II.22. Clavette parallèle

Appelons : d le diamètre de l'arbre (en mm)

P la puissance à transmettre (en W)

ω La vitesse de rotation (en rad /s)

$$P = 2600 \text{ W}$$

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$N = 3000 \text{ tr /min}$$

- Le couple transmis :

$$Mt = \frac{P}{\omega} \text{ (en N.m)}$$

$$\omega = 2\pi \times \frac{N}{60}$$

$$\omega = 314,16 \text{ rad/s}$$

$$Mt = 8,28 \text{ N.m}$$

$$Mt = F \times \frac{d}{2} \rightarrow F = \frac{2Mt}{d}$$

$$F = 662,4 \text{ N}$$

Avec la force exercée sur la clavette, cette force engendre des contraintes de compression et des contraintes de cisaillement.

- La contrainte de cisaillement :

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{F}{L \times a}$$

$$\tau = 4,14 \text{ N/mm}^2$$

a : Largeur de la clavette

- La contrainte de compression :

$$\sigma = \frac{2F}{L \times B}$$

$$\sigma = 8,28 \text{ N/mm}$$

L : longueur de la clavette

b : Hauteur de la clavette

- La condition de résistance au cisaillement

$$\tau \leq R_{pg} \text{ avec } R_{pg} = \frac{R_{eg}}{s} \text{ avec}$$

- R_{pg} = résistance pratique élastique au glissement (ou cisaillement)
- s = coefficient de sécurité (généralement égal à 2)
- $R_{eg} = 0,5 \text{ à } 0,8 R_e$ avec R_e = Résistance élastique à la traction

$$\rightarrow R_{pg} = \frac{0,8 \times 750}{2} = 300 \text{ N/mm}^2$$

$$4,14 \leq 300 \text{ N/mm}^2$$

- La condition de résistance au matage

Pour qu'une clavette résiste au matage, il faut que la pression de matage P_m soit inférieure ou égale à la pression admissible P_a .

$$P_m = \frac{F}{S_m} < P_a$$

Surface matée S_m

$$S_m = \frac{b}{2} \times L$$

avec

b = hauteur de la clavette en mm

L = longueur de la clavette en mm

Effort appliqué sur la clavette F

$$F = \frac{C}{R}$$

avec

C = couple de rotation de l'arbre en N mm

R = rayon de l'arbre en mm

Pression admissible P_a

Clavetage glissant sous charge : 2 à 20 MPa

Clavetage glissant sans charge : 20 à 50 MPa

Clavetage fixe (cas le plus fréquent) : 40 à 150 MPa

Application numérique :

$$P_m = \frac{662,4}{80} = 8,28 \text{ N/mm}$$

$$8,28 < 150$$

Les matériaux recommandés pour les clavettes doivent avoir une charge de rupture supérieure à 600 N/mm²

Les contraintes de cisaillement admissible variant généralement en fonction des types d'assemblage et de l'allure de la charge

$\sigma_{\text{mat}} = 150 \text{ N/mm}^2$ pour acier doux et fonte

$\sigma_{\text{mat}} = 200 \text{ N/mm}^2$ pour acier coulé

II.2 Généralité sur les aciers

II.2.1 Définition de l'acier

On appelle acier, l'alliage ferreux contenant moins de 2,06 % de carbone sous forme de cémentite.

Le fer, principal constituant de l'acier, a comme caractéristique de posséder deux structures cristallines différentes. Tous les atomes de fer sont sphériques et jointifs. Ils se présentent sous forme d'empilements réguliers dont le motif de base est la maille. Ces empilements prennent le nom de réseau [8].

II.2.2 Classification des aciers

II.2.2.1 Aciers alliés

Ce sont des ferro-alliages, c'est à dire des alliages fer-carbone contenant au moins un troisième élément d'alliage en quantité suffisante pour avoir une modification sensible d'une ou de plusieurs propriétés de l'acier [9].

a) Les aciers fortement alliés

Ce sont des aciers dont lesquels un au moins des éléments d'alliage renferme une teneur supérieure à 5%. Ils sont désignés par :

- La lettre X (Z pour l'ancienne norme).
- La teneur moyenne en C exprimés en centièmes pourcent
- La série des symboles normalisés des éléments alliés rangés par teneurs décroissantes
- Les teneurs pour cent d'une partie des éléments rangées dans le même ordre et sans coefficient multiplicateur [10].

Exemple

X 5 Cr Mo 17-12 : acier fortement allié contenant 0,005%de carbone, 17 % de 12 % de nickel, des traces de molybdène

b) Les aciers faiblement alliés

Ce sont des aciers dont lesquels aucun élément d'addition n'atteint 5% en masse ces aciers sont désignés par :

- Les nombres égaux aux teneurs moyens en carbone en centièmes pour cent (100 fois la teneur en %)
- Une série de symboles normalisés correspondant aux éléments alliés rangés par teneurs décroissantes, ne sont énumérés que les éléments nécessaires pour éviter toute ambiguïté.
- Un (ou deux) nombres indiquant la teneur des éléments principaux est obtenu en multipliant la teneur % :
- Par 4 pour Cr, Co, Mn, Ni et Si.
- Par 10 pour tous les autres (à l'exception de B et N à multiplier par 1000 et 100) [10].

II.2.2.2 Aciers non alliés

Les aciers non alliés sont les plus utilisés en construction mécanique et métallique (construction automobile, structure métallique, ferroviaire, navale...). Ils sont disponibles sous forme laminés marchands (tôle, profilé, bar, poutrelles...) et peuvent être assemblés ou soudés. Suivant leur usage, on désigne les aciers non alliés de type S, E ou de type C [11].

a) Acier de type S ou E

Les aciers de type S ou E sont des aciers d'usage général S ou utilisés en construction mécanique E

Désignation normalisée

La lettre S ou E est suivie d'un nombre représentant la limite élastique en MPA (N/mm²)
Exemple :

S185 (Re=185MPa)

Lorsqu'on rajoute la G il s'agit d'un acier de moulage

Exemple :

GS355 (Re= 355MPa) et moulé

b) Aciers de types C

Les aciers de type C sont adaptés aux traitements thermiques et au forgeage si le pourcentage de carbone est supérieur à 0,3%.

Désignation normalisée

La lettre C suivie de 100 fois le pourcentage de la teneur en carbone.

Exemple :

C55 (0,055%de carbone)

GC80 (0,8% de carbone) et moulé

II.2.3 La fiche technique de l'acier 42Cr Mo 4

II.2.3.1 Normalisation

La norme de l'acier 42 Cr Mo 4 est représentée dans le tableau ci-dessous

Tableau II.12. Les normes de l'acier 42 Cr Mo 4.

AFNOR	DIN	AISI	NF EN 10027-1
42 CD 4	42 Cr Mo 4	4140	42CrMo4 (1.7225)

II.2.3.2 Caractéristiques

Acier de construction faiblement allié au chrome molybdène pour trempé et revenu. Bonne trempabilité à l'huile, bonne résistance aux surcharges à l'état traité.

II.2.3.3 Domaines d'applications

Acier très employé en mécanique, pour des pièces de moyennes à fortes sections : arbres, essieux, crémaillères, vilebrequins, bielles, engrenages. Cet acier est parfois utilisé pour des pièces trempées superficiellement.

II.2.3.4 Composition chimique en % [12]

Composition chimique de l'acier 42 Cr Mo 4 est représentée dans le Tableau ci-dessous :

Tableau II.13. Composition chimique de l'acier 42 Cr Mo 4.

C	Cr	Mo	S	Mn	P	Si
0,38-0,45	0,90-1,20	0,15-0,30	≤ 0,035	0,60-0,90	≤ 0,035	0,40 max

II.2.3.5 Caractéristiques mécaniques moyennes [12]

Les caractéristiques mécaniques de l'acier 42 Cr Mo 4 est représentée dans le Tableau ci-dessous

Tableau II.14. Caractéristique mécanique de l'acier 42 Cr Mo 4.

Rm N/mm ²	Re N/mm ²	A %	Dureté HRC
750 / 1300	500 / 900	10 / 14	27 - 48

II.3 Les traitements thermiques des aciers

II.3.1 Définition

Les traitements thermiques sont des opérations de chauffage et de refroidissement qui ont pour but de donner à une pièce métallique les propriétés les plus appropriées pour son emploi ou sa mise en forme. Ils permettent d'améliorer dans une large mesure les caractéristiques mécaniques d'un acier de composition déterminée. Toute utilisation rationnelle d'un alliage implique un traitement thermique approprié. D'une façon générale, un traitement thermique ne modifie pas la composition chimique de l'alliage mais apporte les modifications suivantes :

- Constitution (état de carbone et forme allotropique du fer)
- Structure (grosseur du grain et répartition des constituants)
- Caractéristiques mécaniques.

Les principaux traitements thermiques utilisés en industrie sont la trempe et le revenu [13].

II.3.2 Traitements thermiques dans la masse

Dont le but est de conférer les propriétés recherchées dans toute la masse de la pièce, les principaux traitements thermiques sont : la trempe, le revenu et le recuit [14].

II.3.2.1 La trempe de l'acier

La trempe est un traitement thermique qui consiste à :

- Chauffer l'acier à une température d'austénitisation égale à $Ac3+50$ °C pour les aciers hypoeutectoïdes et $Ac1+50$ °C pour les aciers hypereutectoïdes
- Maintenir un certain temps à cette température afin de permettre aux transformations internes de se produire dans toute la masse.

Refroidir suffisamment vite par immersion dans un fluide comme l'eau, l'huile et bain de sel ou en utilisant les brouillards qui sont des courants d'air contenant de gouttelettes d'eau en suspension (Figure II.21)

La trempe a pour but de donner à l'acier la plus grande dureté possible par formation martensite ou de la perlite fine [15].

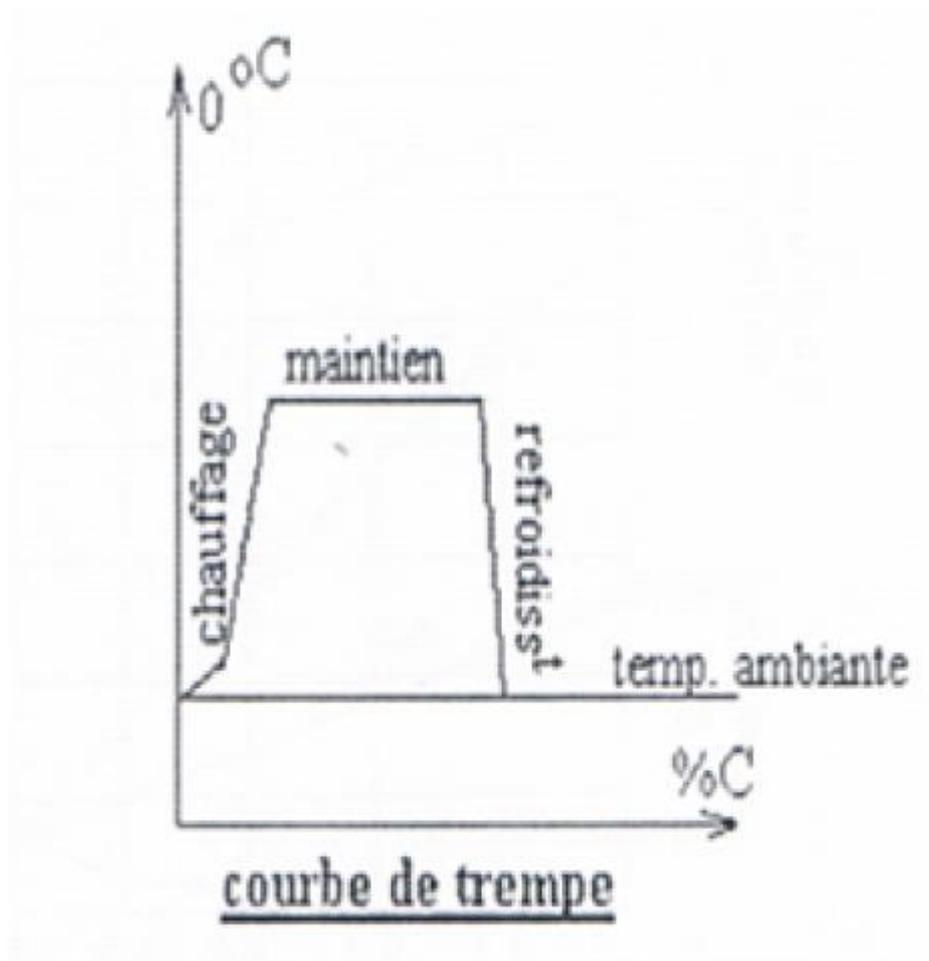


Figure II.23. Cycle thermique de trempe

Chapitre III

Conception et simulation assistées par ordinateur des clavettes

Conception et simulation assistées par ordinateur des clavettes

III. 1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons faire une étude de conception des clavettes à l'aide d'un logiciel CAO

III.2. La conception assistée par ordinateur CAO

III.2.1 Définition

La conception assistée par ordinateur ou CAO est un ensemble d'outils informatiques (logiciels et matériels) qui permettent de réaliser une modélisation géométrique d'un objet afin de pouvoir simuler des tests en vue d'une fabrication.

III.2.2 Choix du logiciel utilisé pour la simulation

Il existe de nombreux logiciels de conception et de calculs assisté par ordinateur sur le marché, parmi les nombreux logiciels on trouve NASTRAN, CATIA, ABAQUS et Solidworks. Pour faire notre étude nous allons utiliser le logiciel de conception assistée par ordinateur Solidworks.

III.2.3 Le logiciel Solidworks

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

Le logiciel SolidWorks supporte de nombreux formats de fichier 3D :

3D XML, ACIS, Adobe Illustrator, Adobe Photoshop, Adobe Portable Document Format, Autodesk Inventor, CADKEY, CATIA Graphics, fichiers DXF/DWG, DXF 3D, SolidWorks ,eDrawings, Highly Compressed Graphics, HOOPS, IDF 2.0, IDF 3.0, IDF 4.0, IFC, IGES, JPEG, Mechanical Desktop, PADS, Parasolid, PDF, Pro/ENGINEER, ProStep EDMED, Rhino, ScanTo3D, Solid Edge, STEP, STL, TIFF, U3D, Unigraphics, VDAFS, Viewpoint, VRML, XPS.

III.2.4 Simulation numérique

La simulation numérique, est une série de calculs effectués sur un ordinateur et reproduisant un phénomène physique. Elle aboutit à la description du résultat de ce phénomène, comme s'il s'était réellement déroulé.

Les calculs de simulation permettent de prédire le comportement du sujet étudié sans avoir à passer par la construction de prototypes ou la réalisation d'essais réels, coûteux et difficiles à mettre en place ; ce qui est un avantage essentiel en matière de coûts de production, notamment dans les domaines innovants.

III.2.4.1 Présentation de la simulation numérique

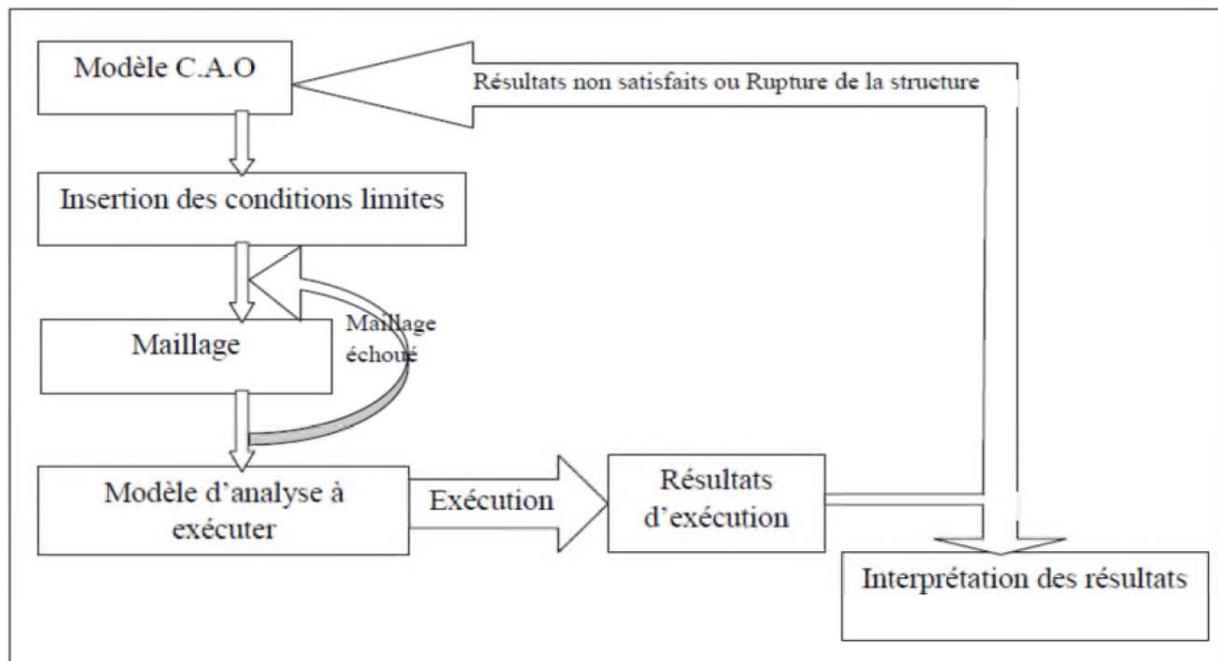


Figure III.1. Les processus de simulation

III.2.4.2 Les étapes à suivre pour notre étude de simulation

- Affectation du matériau (les propriétés physiques et mécaniques).
- Mise en place des conditions aux limites (déplacements imposés).
- Application des chargements.
- Maillage de la pièce.
- Exécution de l'analyse.
- Visualisation et analyse des résultats.

III.3 Analyse des résultats de simulation

Dans notre étude nous avons deux types de clavettes, clavette parallèle et clavette disque que nous allons simuler.

a) Les déplacements imposés

Pour faire une étude de simulation, il est nécessaire de définir les déplacements pour indiquer au logiciel l'emplacement de l'équilibre statique, pour cela, nous avons imposé des fixations au niveau de la surface comme le montre les Figures suivantes :

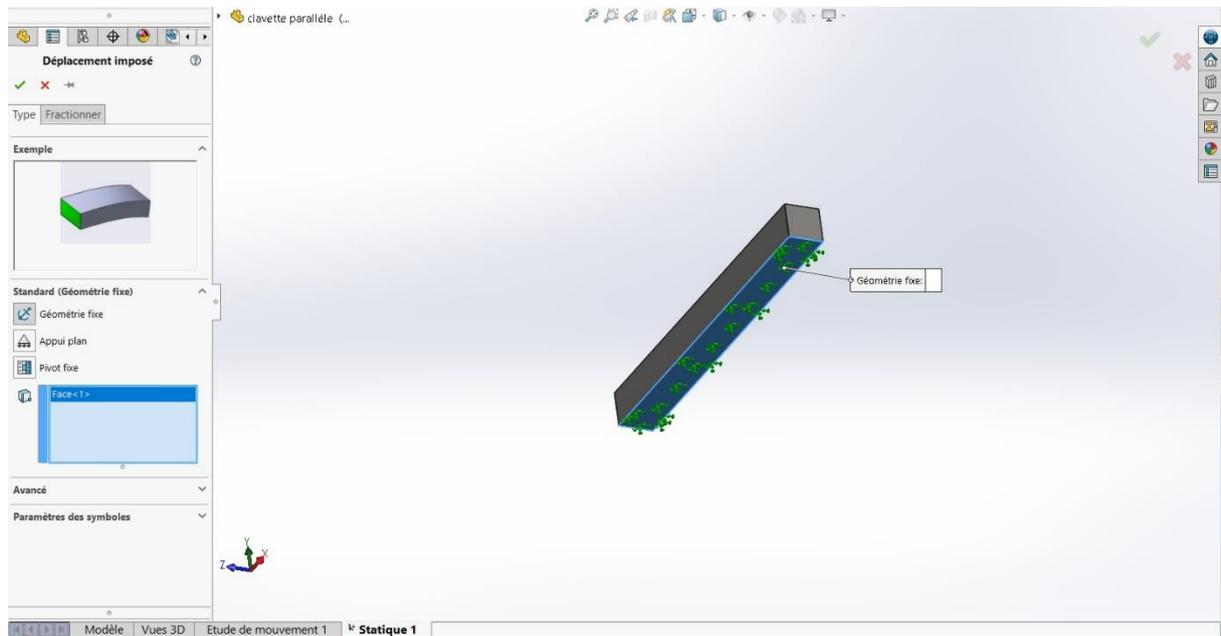


Figure III.2 Déplacement imposé sur la clavette parallèle

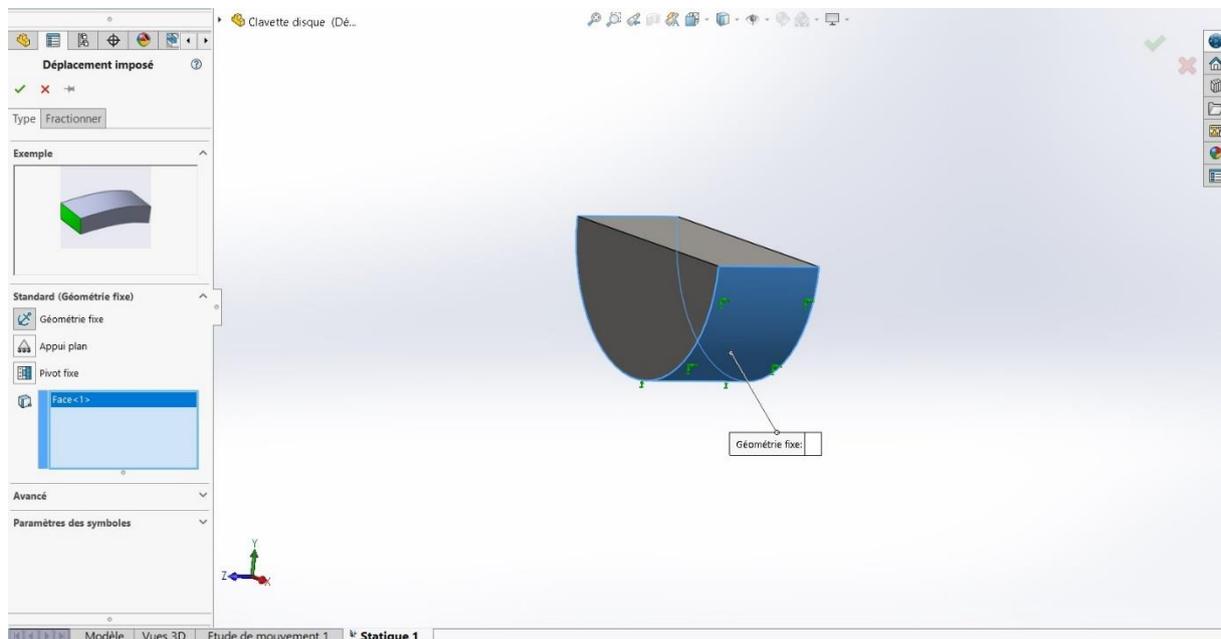


Figure III.3. Déplacement imposé sur la clavette disque

b) Application du chargement

Le chargement qu'on va appliquer est une force de $F=662,4N$, le chargement sera appliqué uniformément sur une surface, on prend cette surface comme le cas le plus critique que montre les figures suivantes.

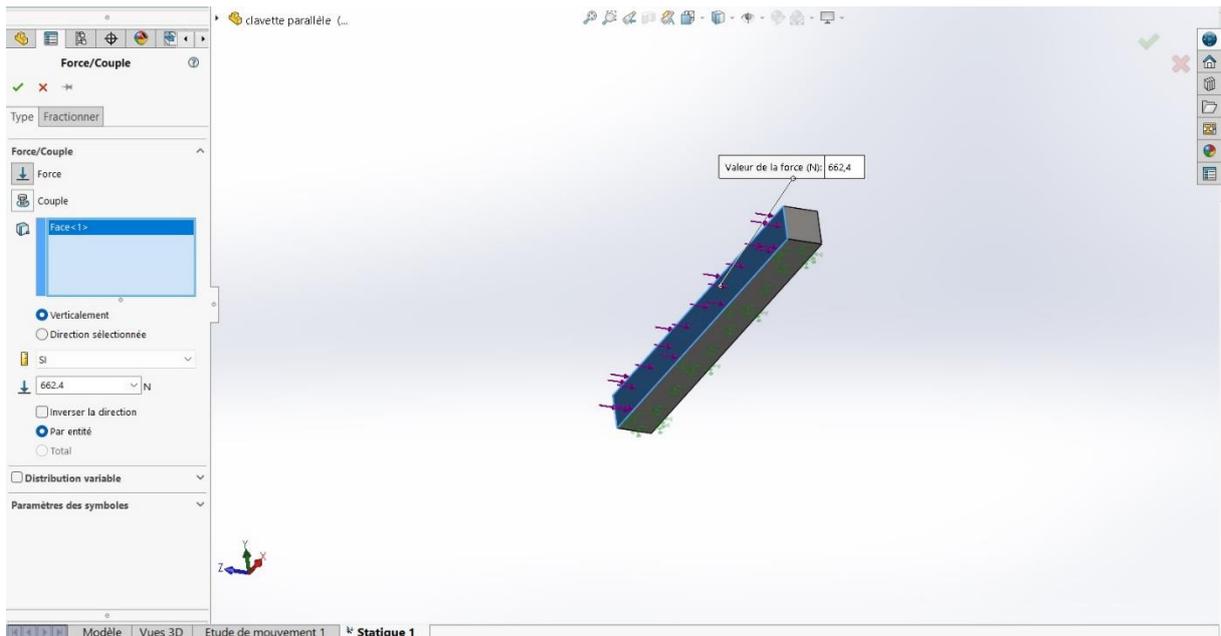


Figure III.4 Application du chargement sur la clavette parallèle

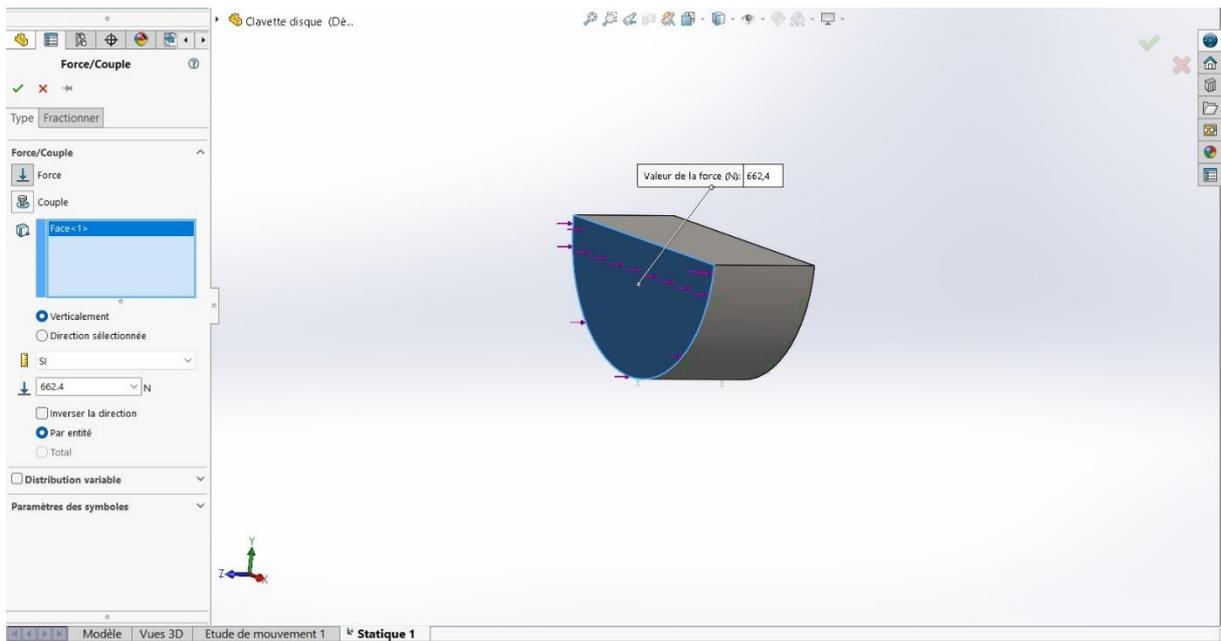


Figure III.5 Application du chargement sur la clavette disque

c) Affectation du matériau

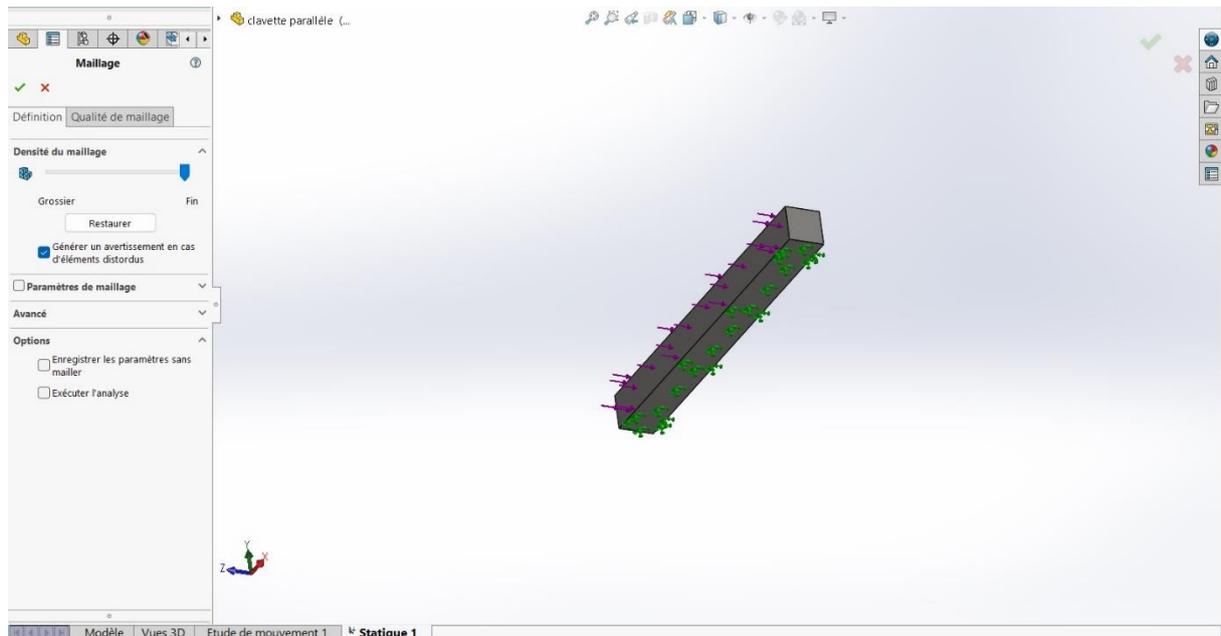
Après la définition des chargements nous avons défini le matériau, qui est le 42CrMo4

Propriété	Valeur	Unités
Module d'élasticité	2.100000031e+011	N/m ²
Coefficient de Poisson	0.28	S.O.
Module de cisaillement	7.9e+010	N/m ²
Masse volumique	7800	kg/m ³
Limite de traction	1000000000	N/m ²
Limite de compression		N/m ²
Limite d'élasticité	750000000	N/m ²
Coefficient de dilatation thermique	1.1e-005	/K
Conductivité thermique	14	W/(m·K)
Chaleur spécifique	440	J/(kg·K)
Rapport d'amortissement du matériau		S.O.

Figure III.6 Propriété de l'acier 42CrMo4

d) Application du maillage

Après les déplacements imposés et les chargements, nous allons procéder au maillage volumique des clavettes.



Nom du modèle: clavette parallèle
 Nom de l'étude: Statique 1(-Défaut-)
 Type de tracé: Maillage Qualité1

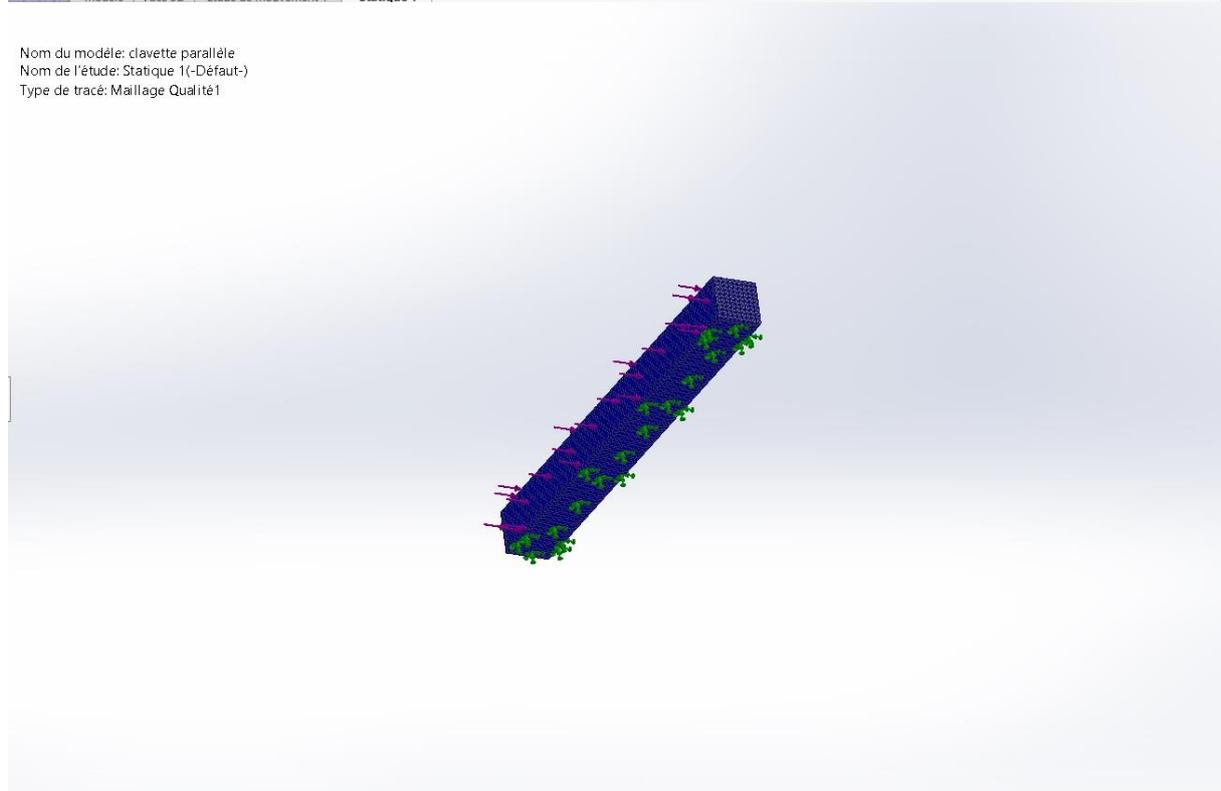
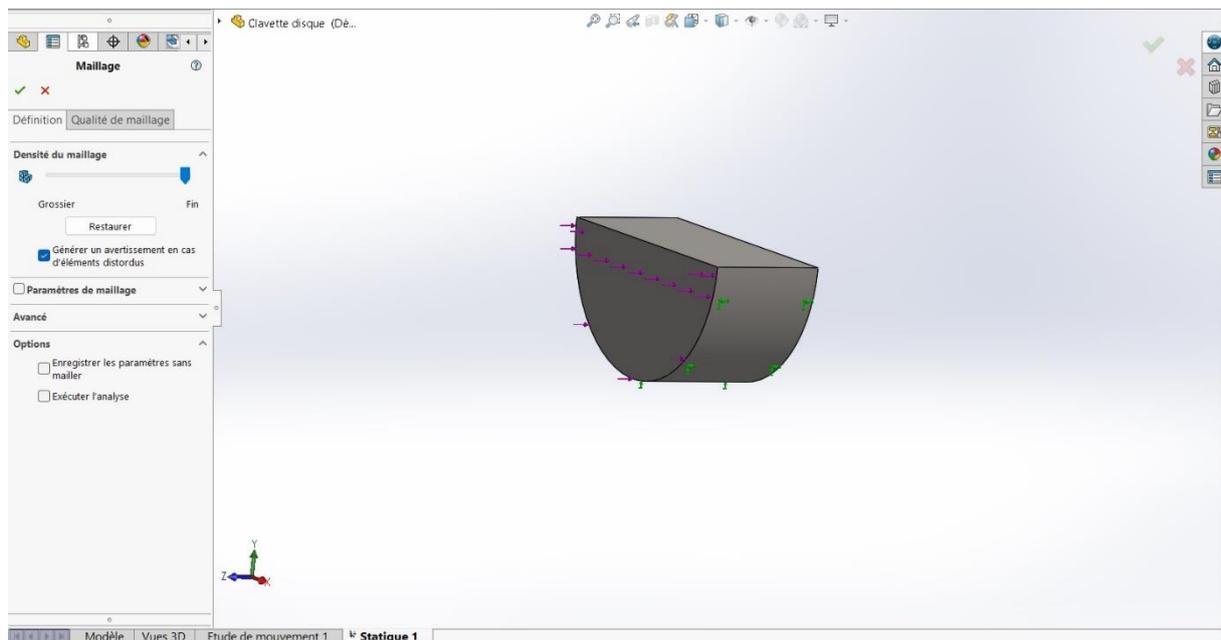


Figure III.7 Application du maillage sur la clavette parallèle



Nom du modèle: Clavette disque
 Nom de l'étude: Statique 1(-Défaut-)
 Type de tracé: Maillage Qualité1

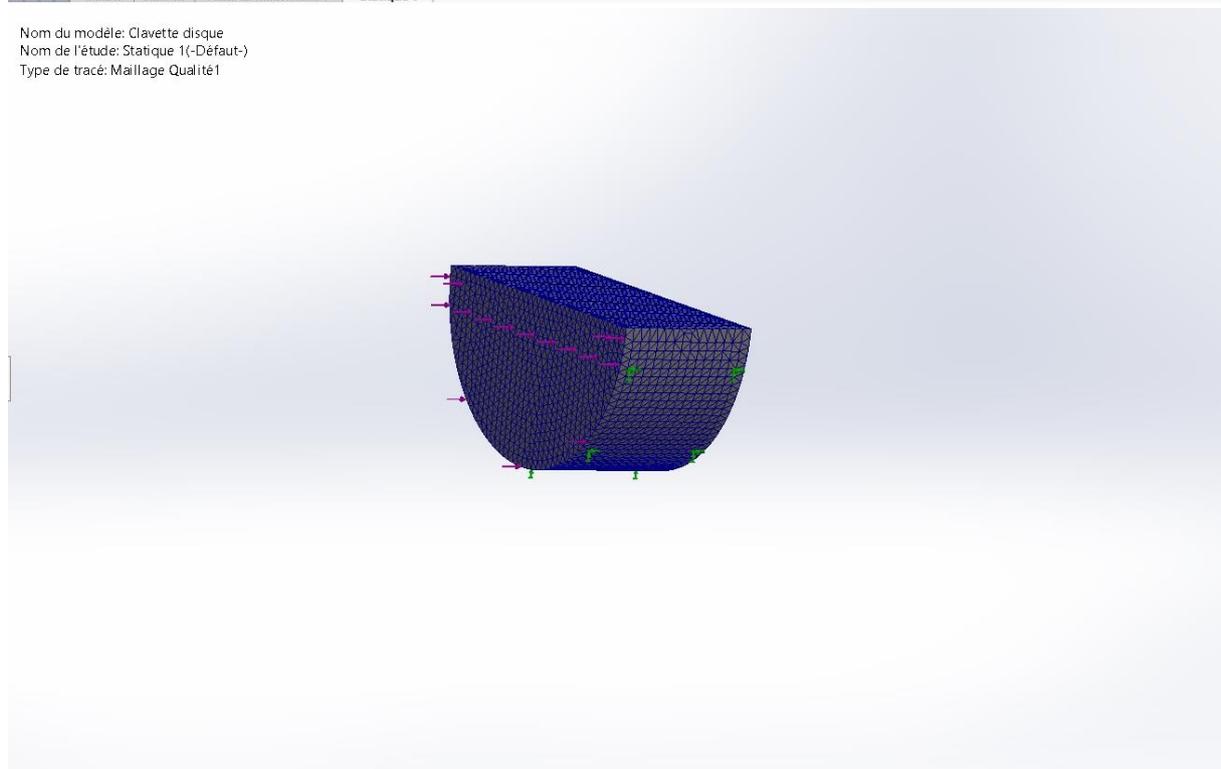


Figure III.8 Application du maillage sur la clavette disque

e) Distribution du champ de contrainte dans l'ensemble des pièces

1. Clavette parallèle :

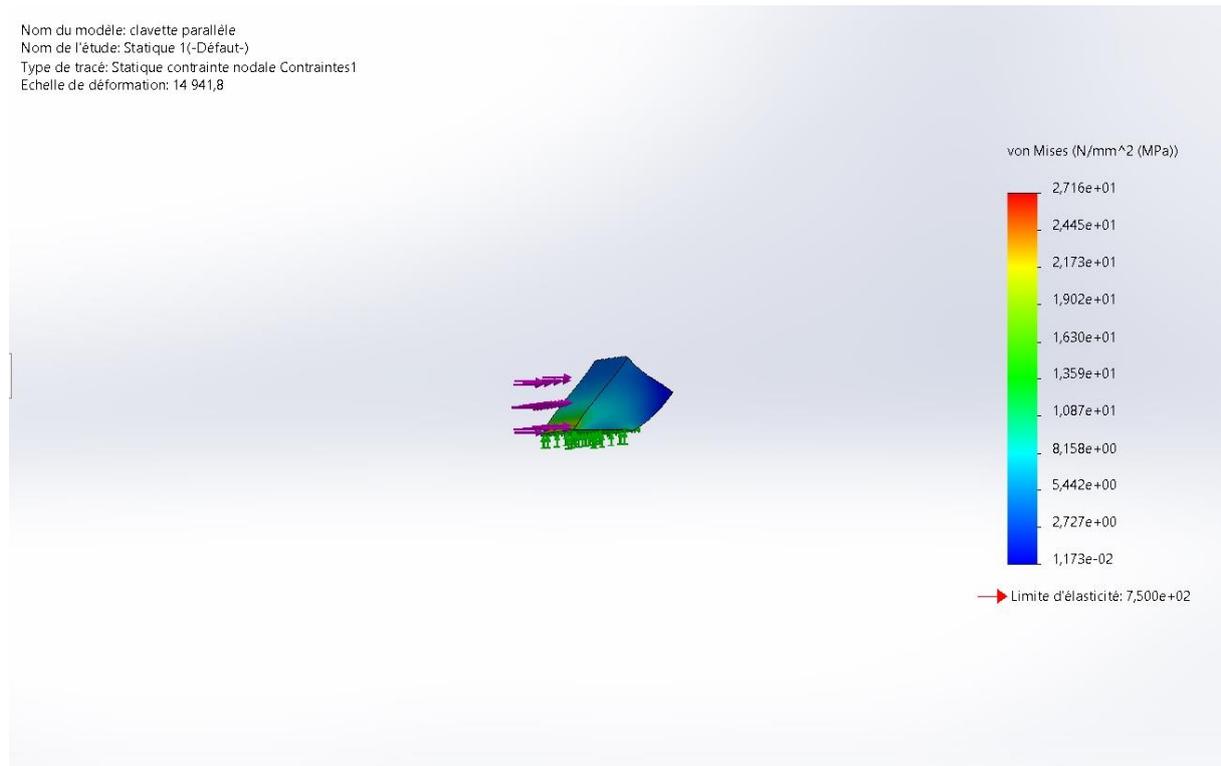


Figure III.9 Distribution du champ de contrainte dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul.

La Figure III.9 indique la distribution du champ de contrainte sur tout le volume de la pièce allant de la valeur minimale (indiquée en bleu) qui est de 0,012 N/mm², vers la valeur maximale (indiquée en rouge) qui est de 27,16 N/mm². Nous remarquons que les zones les plus sollicitées se situent aux extrémités de la zone du déplacement imposé, précisément l'extrémité inférieure, donc notre pièce a plus de possibilité de se cisailée qu'a se maté.

Nous constatons que la limite d'élasticité du matériau utilisé (42CrMo4) 750 N/mm² est beaucoup plus grande que la valeur de contrainte dans les zones les plus sollicitées (27,16 N/mm²). Nous pouvons dire que la résistance de notre pièce est bonne.

2. Clavette disque :

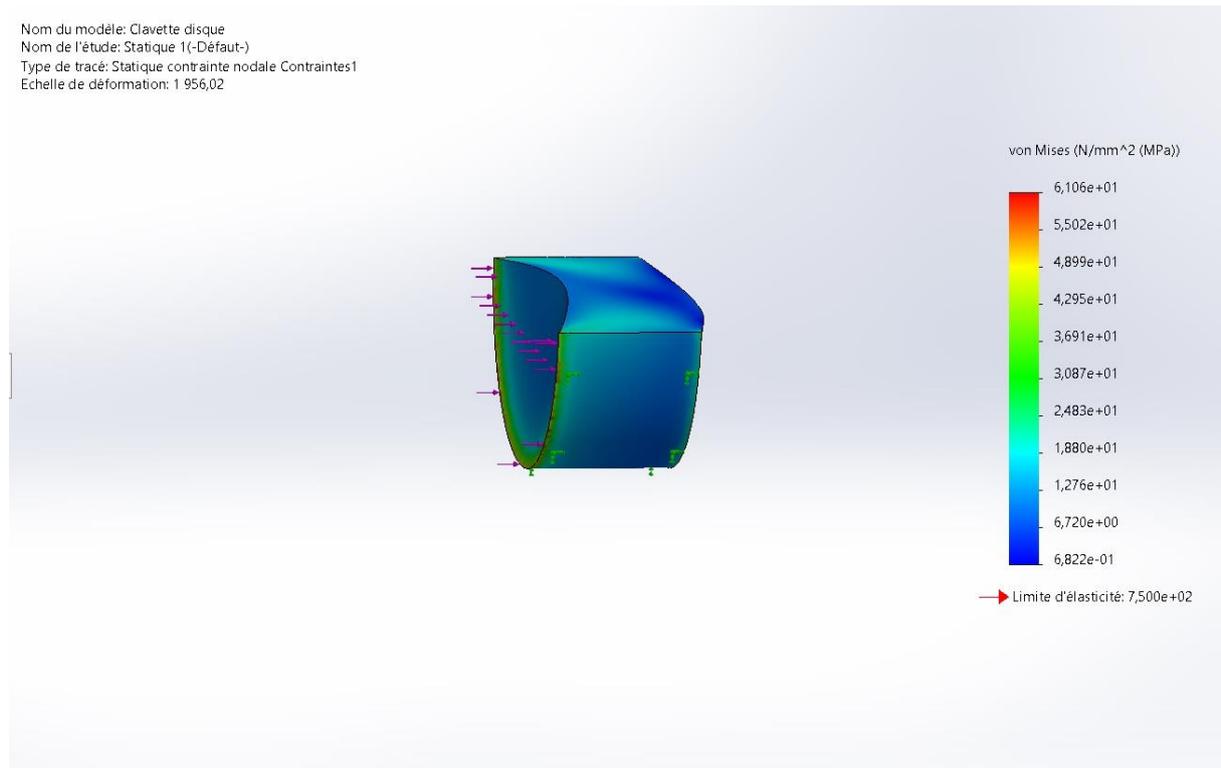


Figure III.10 Distribution du champ de contrainte dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul.

La Figure III.10 indique la distribution du champ de contrainte sur tout le volume de la pièce allant de la valeur minimale (indiquée en bleu) qui est de 0,68 N/mm², vers la valeur maximale (indiquée en rouge) qui est de 61,06 N/mm². Nous remarquons que les zones les plus sollicitées se situent aux extrémités de la zone du déplacement imposé, précisément l'extrémité inférieure, donc notre pièce a plus de possibilité de se cisailée qu'a se maté. Nous constatons que la limite d'élasticité du matériau utilisé (42CrMo4) 750 N/mm² est beaucoup plus grande que la valeur de contrainte dans les zones les plus sollicitées (61,06 N/mm²). Nous pouvons dire que la résistance de notre pièce est bonne.

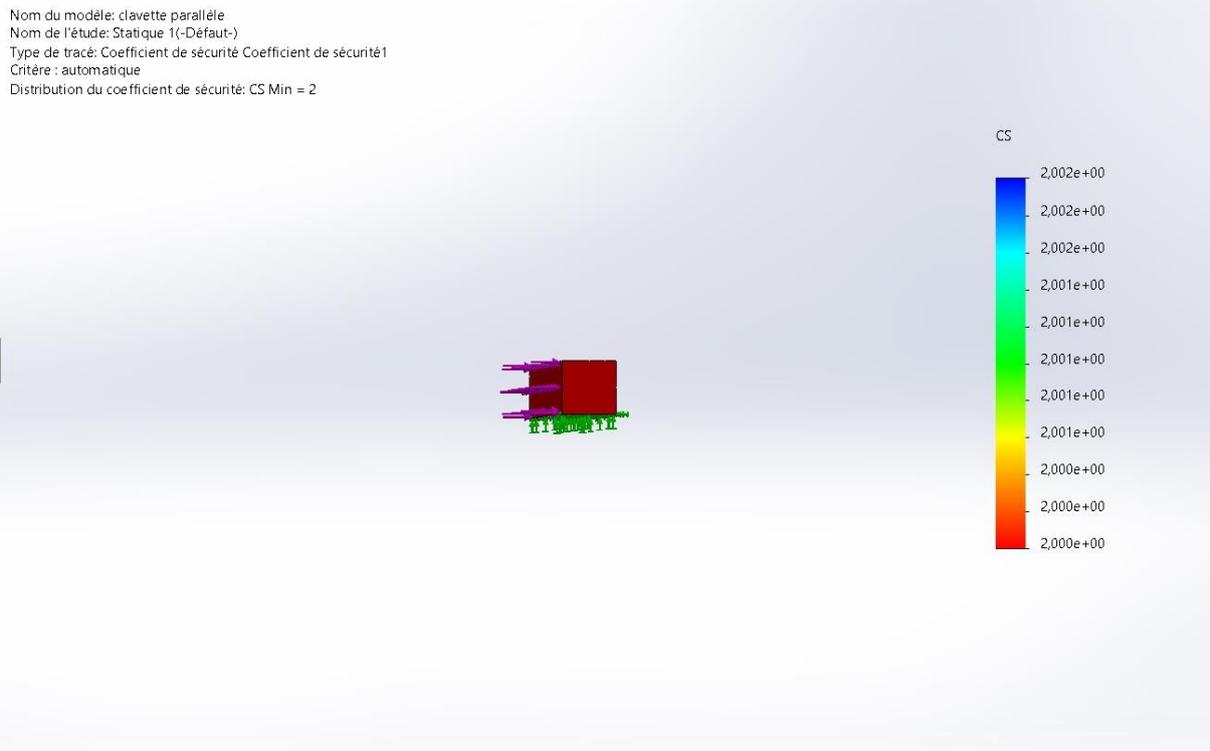
f) Distribution du coefficient de sécurité dans l'ensemble des pièces**1. Clavette parallèle :**

Figure III.11. Distribution du coefficient de sécurité obtenu dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul avec un coefficient minimal égal à 2.

La Figure III.11 montre la distribution du coefficient de sécurité dans tout le volume de la pièce allant de la valeur minimale (indiquée en rouge) qui est de 2, vers les valeurs maximale (indiquée en bleue) d'une valeur de 7,7 veut dire que la contrainte équivalente en cette zone est 2 fois inférieur à la limite d'élasticité du matériau choisi, nous pouvons dire que la résistance de notre pièce est bonne.

2 Clavette disque :

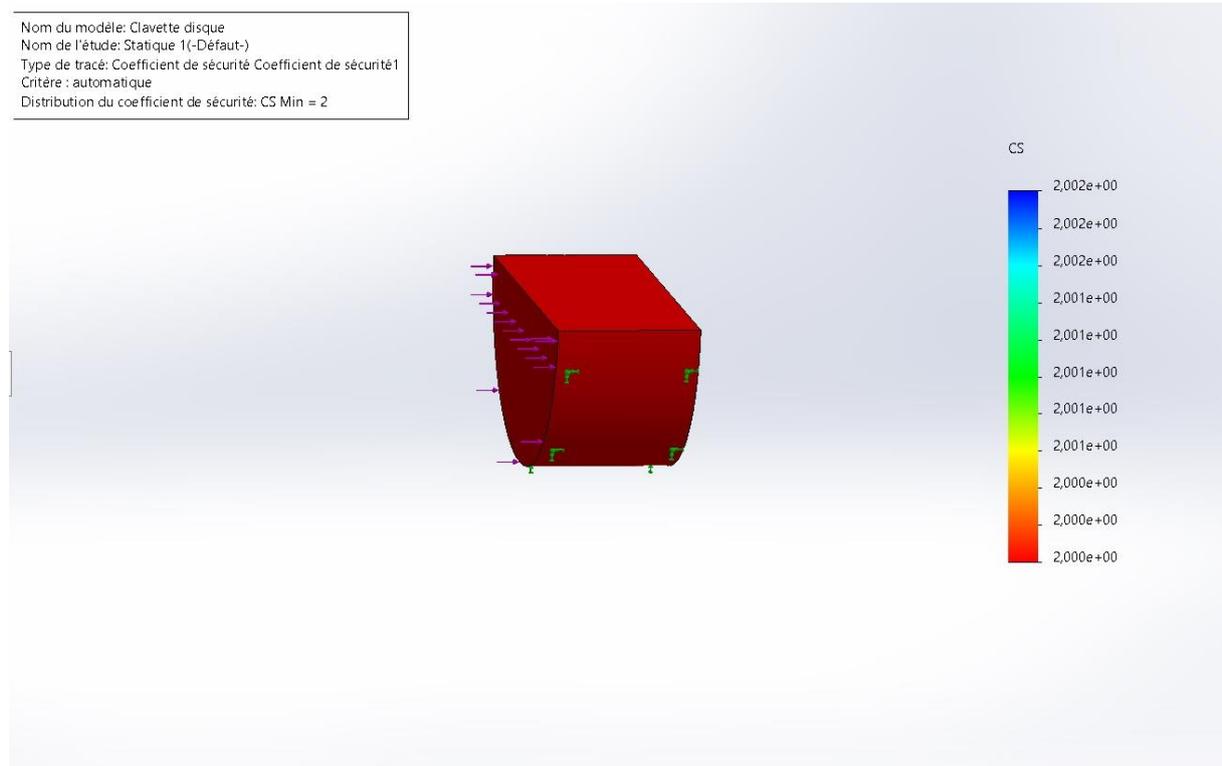


Figure III.12 Distribution du coefficient de sécurité obtenu dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul avec un coefficient minimal égal à 2.

La Figure III.12 montre la distribution du coefficient de sécurité dans tout le volume de la pièce allant de la valeur minimale (indiquée en rouge) qui est de 2, vers les valeurs maximale (indiquée en bleue) d'une valeur de 2, la valeur de 2 veut dire que la contrainte équivalente en cette zone est 2 fois inférieure à la limite d'élasticité du matériau choisi, nous pouvons dire que la résistance de notre pièce est bonne.

g) Déplacement dans l'ensemble de la pièce

1. clavette parallèle

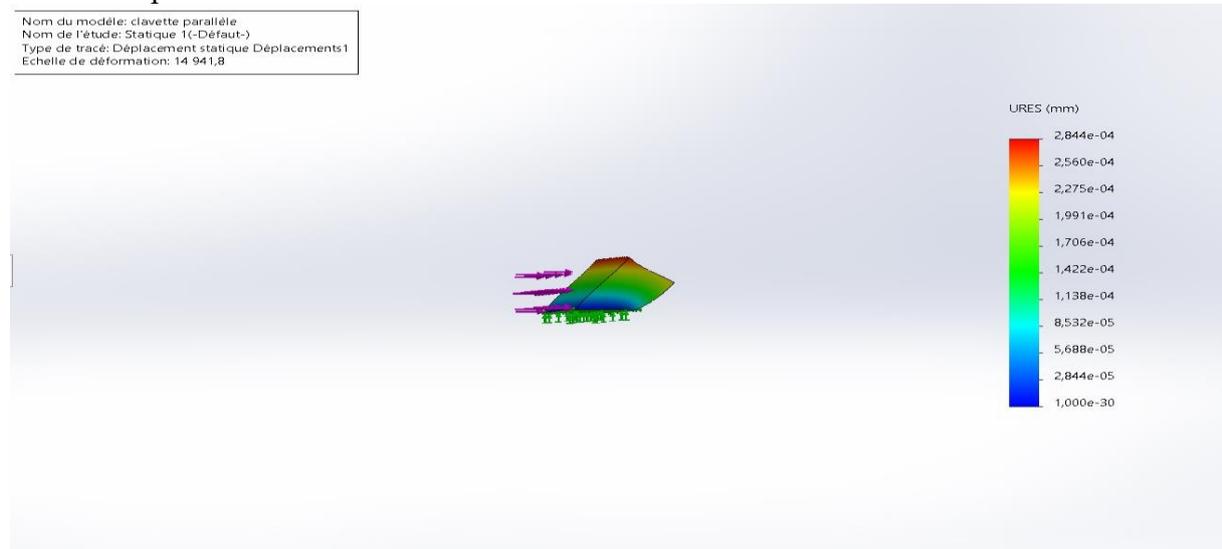


Figure III.13 Déplacement dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul.

La Figure III.13 indique le déplacement sur tout le volume de la pièce allant de la valeur minimale (indiquée en bleu) qui est de $1,000 \times 10^{-30}$ mm, vers la valeur maximale (indiquée en rouge) qui est de $2,844 \times 10^{-04}$. Nous remarquons que les zones les plus sollicitées se situent aux extrémités de la zone du déplacement imposé, précisément l'extrémité inférieure, donc notre pièce a plus de possibilité de se cisailée qu'a se maté.

2. Clavette disque

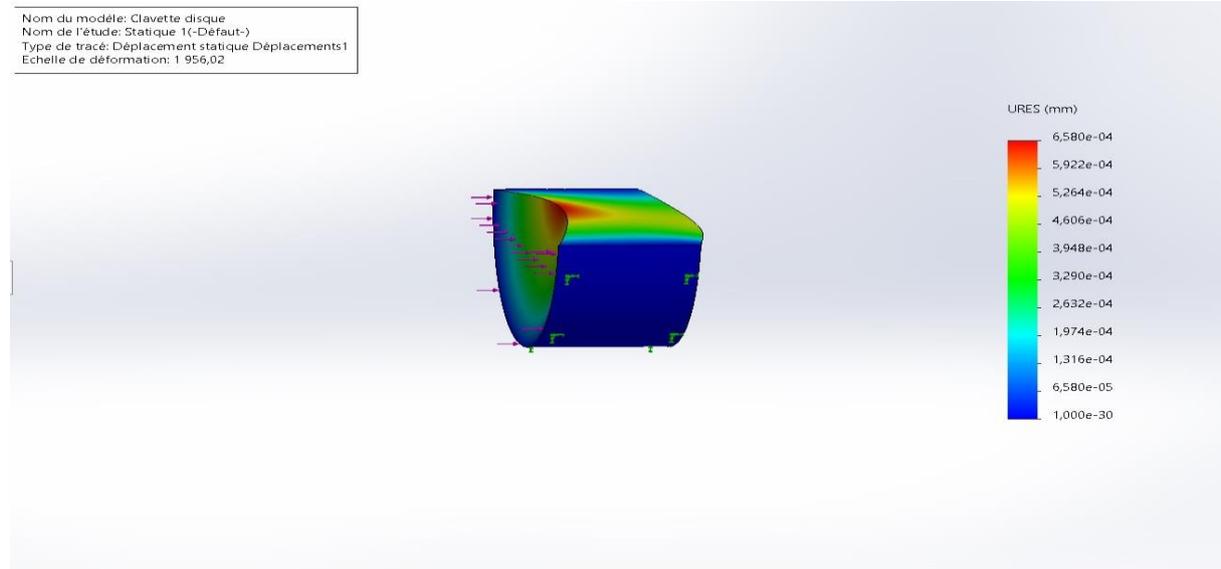


Figure III.14 Déplacement dans l'ensemble de la pièce, après exécution du calcul.

La Figure III.14 indique le déplacement sur tout le volume de la pièce allant de la valeur minimale (indiquée en bleu) qui est de $1,000 \times 10^{-30}$ mm, vers la valeur maximale (indiquée en rouge) qui est de $6,580 \times 10^{-04}$. Nous remarquons que les zones les plus sollicitées se situent aux extrémités de la zone du déplacement imposé, précisément l'extrémité inférieure, donc notre pièce a plus de possibilité de se cisailée qu'a se maté.

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons expliqué les différentes étapes pour procéder à la simulation des clavettes avec l'acier 42CrMo4 et nous avons conclu :

- L'acier 42CrMo4 appartient à la gamme des aciers faiblement alliés, destiné à la fabrication des pièces mécaniques
- L'acier 42CrMo4 à une bonne résistance au cisaillement et au matage.

Conclusion Générale

Notre travail consiste à résoudre le problème de cisaillement de la clavette du vilebrequin relié au disque démarrage .

Notre recherche du matériau adéquat nous a emmené vers l'acier 42CrMo4 résistant et disponible sur le marché algérien.

L'étude de dimensionnement prouve que la clavette d'origine de la tondeuse, est bien dimensionnée et pourra résister aux conditions de travail de la machine

- La détérioration de cette pièce est du probablement au matériau utilisé et ou à la mauvaise utilisation de l'appareil.

-Notre apport et de proposé un matériau résistant au choc et au matage.

-Le dimensionnement de la clavette utilisé où constaté qu'elle ne représente pas de problème de dimensionnement.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Manuel d'utilisation de la machine, téléchargé sur le site internet https://www.garland.es/archivos/documentos/manuales/manual_grass755sg_v2.pdf
- [2] DR: AMEUR TOUFIK, Cours Construction Mécanique 1, université kasdi merbah Ouargla 2016.
- [3] G.R. NICOLET, Conception et calcul des éléments de machine Volume I. Ecole d'ingénieurs de fribourg (E.I.F.), section de mécanique, revu en juin 2006.
- [4] Y. QIAN — Z. XIONG — D. Picard, formulaire de mécanique pièce de construction, ÉDITIONS EYROLLES 61, bld Saint-Germain 75240 Paris Cedex 05, 2001.
- [5] J.F. DEBONGNIE, Eléments de machine Volume II, 14 décembre 2012.
- [6] MICHEL OUBLIN ET COLL, Système mécanique théorie et dimensionnement, 2005.
- [7] DUNOD. CHRISTAIN ELOY, Aide mémoire conception et construction mécanique, 1981.
- [8] RAYMOND LANGEVIN, Guide d'auto –apprentissage pour les opérateurs en traitement thermique, 2015.
- [9] A. CONSTANT, G. HENRY et J. C CHARBONNIER, principes de base des traitements Thermiques thermomécanique et thermochimiques des aciers "Edition PYC, 1992.
- [10] J-BARRALIS et G-MAEDER, précis de métallurgie, élaboration, structure, propriétés et normalisation, édition Nathan, 1983.
- [11] PASCAL LUSSIER, <<Construction mécanique et dessin industriel>> 2012.
- [12] fiche technique de l'acier 42CrMo4, MDS, métaux détail service, www.métaux-detail.com.
- [13] Livre des matériaux, éditions des écoles polytechniques de Montréal 2eme éditions J.M.DORLOT, J.P.BAILIAN, J.MASCUNARE.
- [14] MICHEL BURCKEL, "Traitement thermique des aciers". Edition du nouveau pédagogique INC, 1985.
- [15] J.M. DORLOT, J.R. BAILON et J.MASOUNAUE, Des matériaux ". 2em Edition. 1985. Ecole polytechnique de Montréal.

ANNEXES

Annexe A : Fiche technique de l'acier 42CrMo4

**42 CD 4**

AFNOR	DIN	AISI	NF EN 10027-1
42 CD 4	42 Cr Mo 4		42CrMo4 (L7225)

Composition chimique en %

C	Cr	Mo	S	Mn	P	Si
0,38 - 0,45	0,90 - 1,20	0,15 - 0,30	≤ 0,035	0,60 - 0,90	≤ 0,035	0,40 Maxi

Propriétés

Acier de construction faiblement allié au chrome molybdène pour trempe et revenu.
Bonne trempabilité à l'huile, bonne résistance aux surcharges à l'état traité.

Domaines d'application

Acier très employé en mécanique, pour des pièces de moyennes à fortes sections : arbres, essieux, crémaillères, vilebrequins, bielles, engrenages.
Cet acier est parfois utilisé pour des pièces trempées superficiellement.

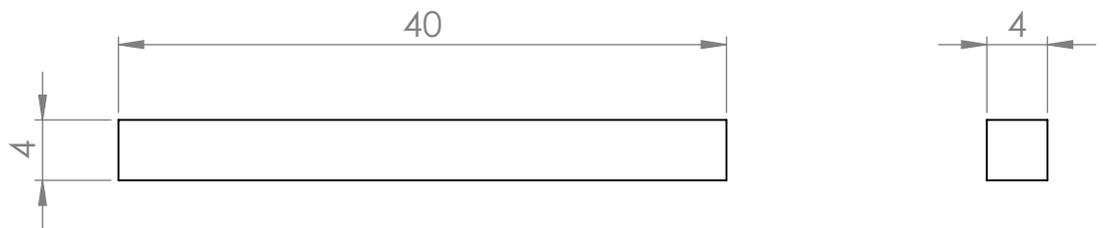
Caractéristiques mécaniques moyennes (état trempé revenu)

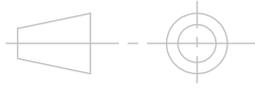
R _m N/mm ²	R _e N/mm ²	A %	Dureté HRB
750 / 1300	500 / 900	10 / 14	

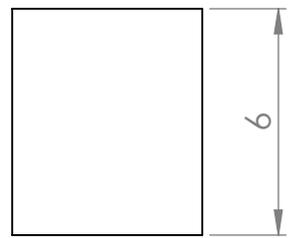
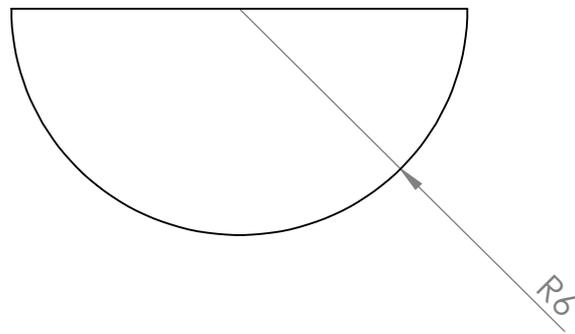
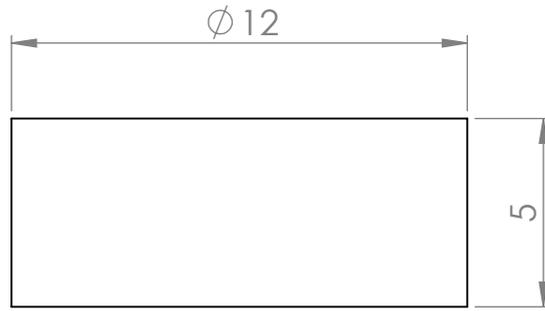
Livraison

Ronds prétraités rectifiés tolérance h7
Ronds prétraités laminés à usinabilité améliorée XM (C18)
Ronds prétraités laminés conventionnels
Laminés : carrés, plats, tôles

Métaux Détail Services
Tél : 03.21.37.32.82 – Fax : 03.21.40.46.98
www.metal-detail.com



UNIVERSITE A-MIRA BEJAIA		Département : GM
ECHELLE - 1:1	CLAVETTE PARALLELE	25/09/2021
		Matière : 42CrMo4
ALLAOUA.A & BENMAOUCHE.B		M2 FMP



UNIVERSITE	A-MIRA	BEJAIA	Département : GM
ECHELLE - 1:1	CLAVETTE DISQUE		25/09/2021
			Matière : 42CrMo4
	ALLAOUA.A & BENMAOUCHE.B		M2 FMP

Résumé

Matériaux, dimensionnement et fabrication de la clavette pour tondeuse à gazon

Après l'examen de notre machine qui est la tondeuse à gazon de la marque Garland modèle 139cc ohv qui se trouve au niveau du hall de technologie au sein de notre université, nous avons constaté une panne récurrente dans le moteur qui a un problème de démarrage, on faisant une analyse plus approfondie nous avons constaté que le problème de démarrage est causé par la clavette, en fait la clavette assure le lien entre la lame et le moteur et quand la lame rencontre un obstacle la clavette absorbe le choc pour ne pas abimer le moteur, le moteur ne démarre pas quand la clavette est déformée parce que le volant moteur est légèrement décalé c'est pour ce que le démarrage ne se fait pas correctement. Comme solution nous avons commencé par faire une recherche sur les clavettes pour fabriquer une plus résistante au cisaillement, ensuite nous avons choisi un acier plus utilisé dans ce domaine de transmission de mouvement qui est le 42CrMo4, puis nous avons commencé la fabrication d'une clavette normalisée en terme de matériau, dimension, traitement thermique.

Abstract

Materials, sizing and manufacture of the lawn mower key

After examining our machine which is the Garland model 139cc ohv lawn mower which is located at the technology hall within our university, we noticed a recurring failure in the engine which has a starting problem. , on doing a more in-depth analysis we found that the starting problem is caused by the key, in fact the key ensures the link between the blade and the motor and when the blade encounters an obstacle the key absorbs the shock so as not to damage the engine, the engine does not start when the key is deformed because the flywheel is slightly offset this is why the starting is not done correctly. As a solution we started by doing a research on the keys to manufacture a more shear resistant, then we chose a steel more used in this field of motion transmission which is 42CrMo4, then we started the manufacture of a key n standard in terms of material, dimension, heat treatment.