

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : CONSTRUCTION MÉCANIQUE

PAR :

HASNAOUI FARES

SALHI AMINE

Thème

Assemblage de deux Plaques avec des Rivets Sollicité à la Flexion

Soutenu le **14/10/2020** devant le jury composé de :

MCB Safia BOUZIDI

Présidente

MCB Mouhand Akli SAHALI

Examineur

MAA Lynda HIMED

Rapporteuse

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement et à témoigner notre grande reconnaissance à Madame Lynda HIMED, notre encadreuse, pour son accompagnement exemplaire tout au long de nos recherches et l'intention qu'elle a porté à notre travail.

Nous remercions également M. Issam BOUKLOUCHE pour ses conseils et son soutien au long de notre cursus de Master.

Un grand merci à Madame Safia BOUZIDI d'avoir accepté d'être la présidente du jury.

Nous remercions aussi Monsieur Mouhand Akli SAHALI de nous avoir fait l'honneur d'être examinateur de notre travail.

Toute notre reconnaissance à M. Abdelhakim BENSLIMANE, chef de département génie mécanique, et M. Abdelatif BELAMRI, adjoint chef de département génie mécanique, qui nous ont beaucoup soutenu durant notre formation.

Nos très vifs remerciements vont à toutes les enseignantes et tous les enseignants du département Génie Mécanique qui nous ont aidé tout au long de notre cursus universitaire.

Nous remercions finalement et sincèrement M. Djamal ATMANI pour son orientation.

Dédicaces

je dédie ce travail :

En premier lieu à mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long de mes études.

À mes grands-parents, toujours présents à mes côtés.

À mes frères Mourad et Anis.

À mon très cher neveu Merzoug.

À tous mes proches ...

À tous mes amis ...

Amine SALHI

Dédicaces

À la mémoire de mon grand-père qui a sacrifié sa vie pour la libération de ce pays.

À la mémoire de ma chère enseignante Rachida FERDJ qui a offert sa vie pour sa profession.

je dédie ce travail :

En premier lieu à mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long
de mes études.

À mes frères et sœurs.

À mon très cher neveu Merzoug.

À mes chers neveux et à mes chères nièces.

À ma très chère petite-amie Linda.

À tous mes proches ...

À tous mes amis ...

Fares HASNAOUI

Table des matières

I. Les différents type éléments d'assemblage

I.1 Introduction.....	1
I.2 Les assemblages démontables.....	1
I.2.1 Assemblage par éléments filetés	1
I.2.1.1 Les vis	1
I.2.1.2 Les écrous	2
I.2.1.3 Les boulons	3
I.2.1.4 Les goujons	3
I.2.2 Assemblage par obstacles	4
I.2.2.1 Goupilles	4
I.2.2.1.1 Classification des goupilles.....	4
I.2.2.2 Clavètes.....	6
I.2.2.2.1 Classification du clavetage.....	6
I.2.2.3 Segments d'arrêt	8
I.2.2.3.1 Classification des segments d'arrêt.....	8
I.2.2.4 Cannelures et dentelures	11
I.2.2.4.1 Classification des assemblages à dentelures ou cannelures	11
I.2.3 Assemblage par adhérence.....	12
I.2.3.1 Assemblage par emmanchement conique	12
I.2.3.1.1 Caractéristiques d'un assemblage conique	13
I.2.3.2 Assemblage par pincement	13
I.2.3.3 Assemblage par douilles coniques fendues.....	14
I.3 Les assemblages non démontables.....	14
I.3.1 Assemblage par frettage.....	14
I.3.1.1 Procédé de frettage.....	14
I.3.2 Assemblage par soudage.....	16
I.3.2.1 Soudabilité	16
I.3.2.2 Procédés de soudage	17
I.3.3 Assemblage par collage	18
I.3.3.1 Définition	18
I.3.3.2 Différents types de collage.....	19
I.3.3.2.1 Collage en bout	19

I.3.3.2.2 Collage par recouvrement	20
I.3.3.2.3 Collage mixte	20
I.3.4 Assemblage par rivetage	20
I.3.4.1 Classification des rivets.....	21
I.4 Conclusion.....	21

II. Généralités sur le rivetage

II.1 Introduction	23
II.2 Définition d'un rivet.....	23
II.3 L'aspect réglementaire des rivets	24
II.4 Domaine d'utilisation des rivets	24
II.5 Type de rivets	26
II.6 Les avantages et inconvénients de l'utilisation des rivets	26
II.6.1 Avantages des rivets	26
II.6.2 Inconvénients des rivets.....	27
II.7 Mise en place des rivets	27
II.8 Montage des rivets	28
II.8.1 Montage à chaud.....	28
II.8.2 Montage à froid.....	28
II.9 Principe de formation de la rivure	28
II.9.1 Rivetage à froid d'un rivet à tête ronde	28
II.9.2 Rivetage à chaud d'un rivet à tête ronde.....	29
II.9.3 Rivetage à froid d'un rivet creux	29
II.9.4 Rivetage à froid d'un rivet Pop.....	30
II.10 Dispositions des rivets	30
II.11 Mode de sollicitation des assemblages rivet.....	32
II.11 Les assemblages se caractérisent par les sollicitations suivantes :	33
II.12 Calculs sur les rivets	34
II.12.1 Estimation du diamètre de rivet.....	34
II.12.2 Vérification au cisaillement.....	34
II.12.3 Nombre de rivets.....	36
II.12.4 Déformation due au cisaillement	36
II.12.5 Calcul des rivets montés à chaud.....	36
II.12.6 Calcul de la résistance des rivets et les membrures	37
I.13 Contrôle des rivets	38
II.14 Travaux de réparation	39

II.14.1 dérivetage	39
II.15 La pathologie des assemblages rivet.....	39
II.15.1 Défauts de pose	39
II.15.3 Déconsolidation des rivets et assemblages	41
II.16 Conclusion.....	42
III. Calcule analytique et numérique sur les rivets	
III.1 Introduction	44
III.2 Rivures sollicités à la flexion	44
III.3 Application	46
III.3.1 Problème posé	46
III.3.2 Calcul des contraintes.....	47
III.3.3 Epaisseurs des plaques	48
III.4 La Conception Assistée par Ordinateur (CAO).....	49
III.4.1 Le module pièce	49
III.4.2 Le module assemblage	49
III.4.3 Le module mise en plan.....	49
III.4.4 La simulation.....	50
III.5 Analyse de l'assemblage	50
III.5.1 Application d'un encastrement	51
III.5.2 Application de chargement.....	51
III.5.3 Choix du matériau	52
III.5.4 Création d'un maillage.....	52
III.5.5 Résultats de l'étude	53
III.6 Discussion des résultats de la simulation	53
III .7 Conclusion.....	55

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1: Emploi des vis d'assemblage

Figure 2: Emploi des vis de pression

Figure 3: Les écrous

Figure 4: Boulons de serrage de deux pièces: **(a)** avec ergot, **(b)** sans ergot

Figure 5: Serrage de deux pièces par un goujon

Figure 6: Assemblage par goupillage

Figure 7: Typologie des goupilles

Figure 8: Clavetage.

Figure 9: Types des clavetages

Figure 10: Segment d'arrêt

Figure 11: Segments d'arrêt standards

Figure 12: Segments d'arrêt compensant le jeu axial

Figure 13: Segments à montage radial

Figure 14: Segments à verrouillage autonome

Figure 15: Assemblage par cône

Figure 16: Montage par collier fondue.

Figure 17: Douille conique fondue

Figure 18: Montage par emmanchement forcé

Figure 19: Préparation de l'arbre et du moyeu

Figure 20: Joints de soudure

Figure 21: Déformation de retrait

Figure 22: Procédé de soudage

Figure 23: Collage par adhésif

Figure 24: Différents types du joint collé

Figure 25: Procédé de rivetage

Figure 26: Types de rivets

Chapitre II

Figure 1: Assemblage riveté

Figure 2: Présente les différents types des rivets, ils sont différenciés par leurs têtes

Figure 3: Les différents types des rivets

Figure 4: Façonnage des rivets

Figure 5: Principe de rivetage à froid d'un rivet à tête ronde

Figure 6: Rivetage à chaud d'un rivet à tête ronde

Figure 7: Rivetage à froid d'un rivet creux

Figure 8: Rivetage à froid d'un rivet Pop

Figure 9: Dispositions usuelles des rivets

Figure 10: Mode de cisaillement des rivures (a) section mono-cisaillée (b) sections bi-cisaillées

- Figure 11:** Dimensions d'un assemblage riveté
- Figure 12:** Principe de fonctionnement
- Figure 13:** Assemblages sollicités perpendiculairement à l'axe des rivets
- Figure 14:** Assemblages sollicités parallèlement à l'axe des rivets
- Figure 15:** Sollicitations appliquées à un rivet sans jeu
- Figure 16:** Sollicitations appliquées à un rivet avec jeu
- Figure 17:** Défaut de tête mal pincée et excentrée
- Figure 18:** Défaut de longueur de tige de rivet
- Figure 19:** Fissuration sur trou de rivet
- Figure 20:** Corrosion de rivet
- Figure 21:** Dégradation des rivets (à gauche) et assemblage (à droite) par déconsolidation

Chapitre III

- Figure 1:** Les éléments de l'assemblage
- Figure 2:** Représentation graphique des forces
- Figure 3:** La construction qui fait l'objet de l'étude
- Figure 4:** Représentation des forces et des réactions (cas de l'étude réalisée)
- Figure 5:** Présentation du logiciel de simulation.
- Figure 6:** Application d'un encastrement
- Figure 7:** Application de chargement
- Figure 8:** Fenêtre des matériaux
- Figure 9:** Le maillage
- Figure 10:** Résultats de l'exécution de l'étude
- Figure 11:** Les zones de concentration de contraintes sur les rivets

Introduction générale :

La construction mécanique des machines et des appareils est obtenue via différents procédés : le moulage, le formage (laminage, forgeage, estampage,...), l'usinage (la coupe des métaux) et l'assemblage, ce dernier consiste à assurer la liaison entre deux ou plusieurs pièces, c'est à dire l'assemblage de celles-ci, il existe deux types d'assemblages : démontables et non démontables. Dans ce travail, nous nous intéressons à un type d'assemblage non démontable qui est le rivetage.

Le rivetage est un processus qui consiste à assembler deux pièces l'une à l'autre pour les rendre solidaire à l'aide de rivets. La présence d'importantes forces soumises sur les pièces exige plus de robustesse et de performance dans les qualités que dispose un rivet.

Nous avons commencé ce mémoire par le rappel de quelques généralités concernant les différents types d'assemblage. Ceci pour une meilleure compréhension de l'étude effectuée. Ensuite, nous avons décrit, dans le deuxième chapitre, des généralités sur le rivetage tout en exposant en détails tout ce qui concerne un rivet, cela dans le but de se familiariser avec l'utilisation des rivets en construction.

Dans le troisième chapitre, nous avons réalisé une étude statique sur deux plaques assemblées par quatre rivets, une "plaque 2" encastrée et une "plaque 1" assemblée à la "plaque 2" et soumise à une force bien définie, pour cela nous avons procédé comme suit : d'abord, nous avons commencé par une vérification analytique de notre construction (correcte ou incorrecte selon le calcul des contraintes). ensuite, nous avons opté pour une étude numérique (simulation) en effectuant une Conception Assistée par Ordinateur (CAO) et ce afin de pouvoir comparer les deux résultats obtenus.

Enfin, nous avons simulé à l'aide du logiciel afin de calculer la contrainte de von Mises pour les quatre rivets, ce qui nous a permis de comparer avec les résultats déjà calculés analytiquement et déterminer les rivets les plus impactés.

Chapitre I

Les différents types élément d'assemblage

I.1 Introduction

Pour assurer la liaison entre deux ou plusieurs pièces, c'est à dire l'assemblage de celles-ci, il existe différents moyens repartis dans deux catégories, les assemblages démontables et les assemblages non démontables.

I.2 Les assemblages démontables

I.2.1 Assemblage par éléments filetés

I.2.1.1 Les vis

Une vis est composée d'une tige filetée sur une certaine longueur menée d'une tête de section plus grande dont le rôle est double; le vissage et le blocage. Selon le mode d'action, on trouve deux types de vis:

- Vis d'assemblage ou la pression est exercée par la tête de la vis.
- Vis de pression ou la pression est exercée par l'extrémité [1].

a. Vis d'assemblage

Elles sont utilisées pour réunir plusieurs pièces les unes sur les autres par pression mutuelle. En effet, la tige d'une vis doit passer librement dans les premières pièces à assembler et se visse uniquement dans la dernière (figure 1).

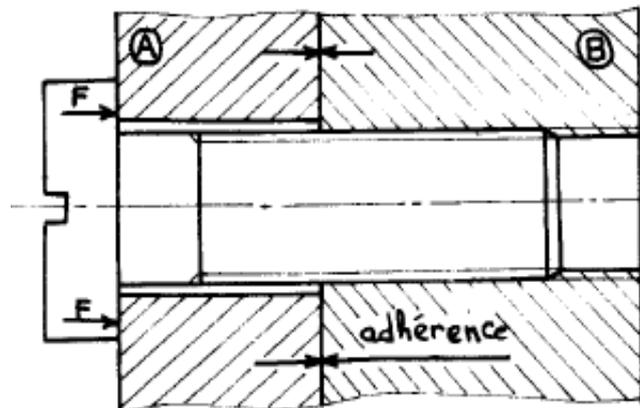


Figure 1 : Emploi des vis d'assemblage

b. Vis de pression

Les vis de pression se différencient de celles d'assemblage par leurs longueurs totalement filetées et leurs extrémités. Elles sont utilisées dans les montages demandant peu de précision et un effort sur l'extrémité (figure 2).

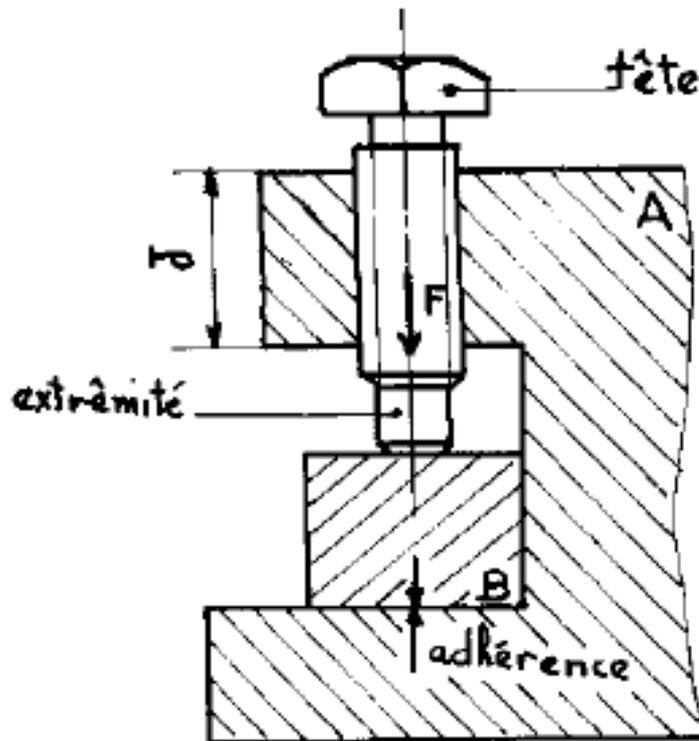


Figure 2: Emploi des vis de pression.

I.2.1.2 Les écrous

Un **écrou** est un composant élémentaire d'un système *vis/écrou* destiné à l'assemblage de pièces ou à la transformation de mouvement [2].

Trois éléments fonctionnels sont à examiner dans l'étude d'un écrou :

- Sa surface d'appui
- Son système de manœuvre
- Son taraudé

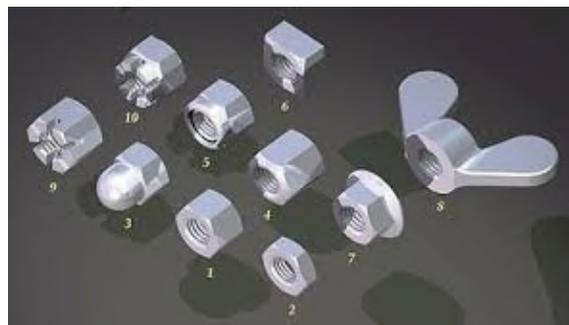


Figure3 : Les écrous.

I.2.1.3 Les boulons

On appelle boulon une tige d'assemblage dont une extrémité, appelée tête, présente un renflement de forme cylindrique ou prismatique généralement hexagonale et dont l'autre extrémité, filetée, reçoit un écrou qui permet d'exercer un effort de serrage sur l'assemblage compris entre lui-même et la tête de boulon. L'immobilisation de la rotation de la tête se fait par fois par l'emploi d'un ergot, Figure 4 (a) [7].

(1) : vis H

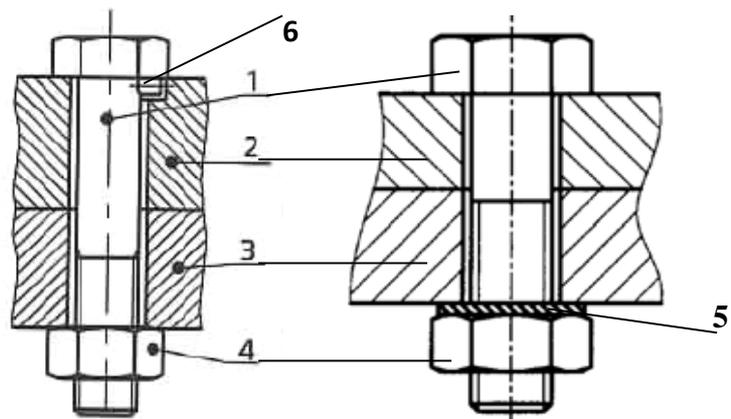
(2) : pièce 1

(3) : pièce 2

(4) : écrou

(5) : rondelle (protection de la pièce)

(6) : ergot



(a) (b)

Figure 4 : Boulons de serrage de deux pièces:(a) avec ergot,(b) sans ergot

I.2.1.4 Les goujons

Le "goujon" est une tige d'assemblage, filetée à ses deux extrémités, dont l'une des extrémités est implantée dans un trou fileté (ou taraudage) pratiqué dans une pièce, en général une pièce massive, faisant partie intégrante de l'assemblage serré par la vis. Figure 5 [7].

(1) :Pièce1

(2) :Rondelle

(3) : Ecrou

(4) :Goujon

(5) :Pièce2

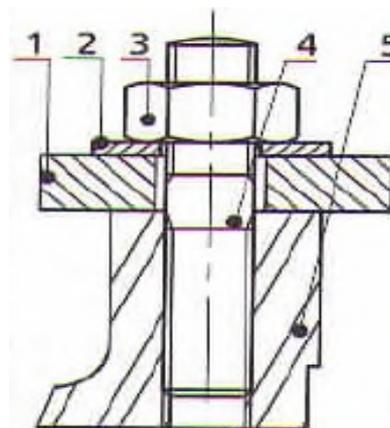


Figure 5 : Serrage de deux pièces par un goujon

I.2.2 Assemblage par obstacles

I.2.2.1 Goupilles

Les goupilles servent à centrer ou à fixer deux ou plusieurs pièces (Figure 6), à transmettre des efforts ou à limiter ces efforts par cisaillement de la section résistante de la goupille. Le contrôle de ces éléments est toujours très simplifié. Il part d'hypothèses simplificatrices et généralement très primitives. Les dimensions transversales sont comprises entre 1 et 20 millimètre(s). Il en résulte une limitation dans l'emploi aux pièces assemblées de dimensions modestes [1].

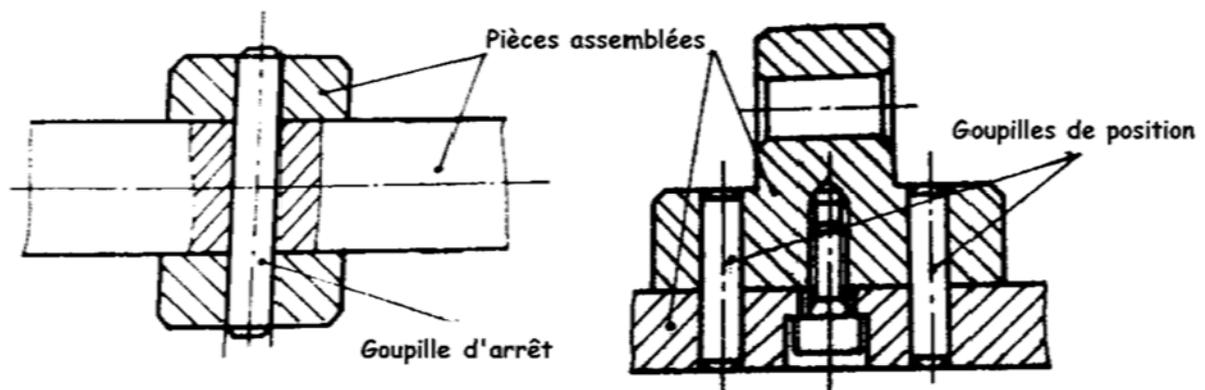


Figure 6:Assemblage par goupillage.

Le montage et le démontage de ces organes sont facilités par la réalisation des trous débouchons sur toutes les pièces assemblées.

I.2.2.1.1 Classification des goupilles

Selon l'emploi des goupilles, on trouve plusieurs types. Chacun de ces types est spécifié par sa forme qui assure son rôle dans l'ensemble. Les plus couramment utilisés sont : les goupilles cylindriques, coniques, fendues et élastiques (Figure7).

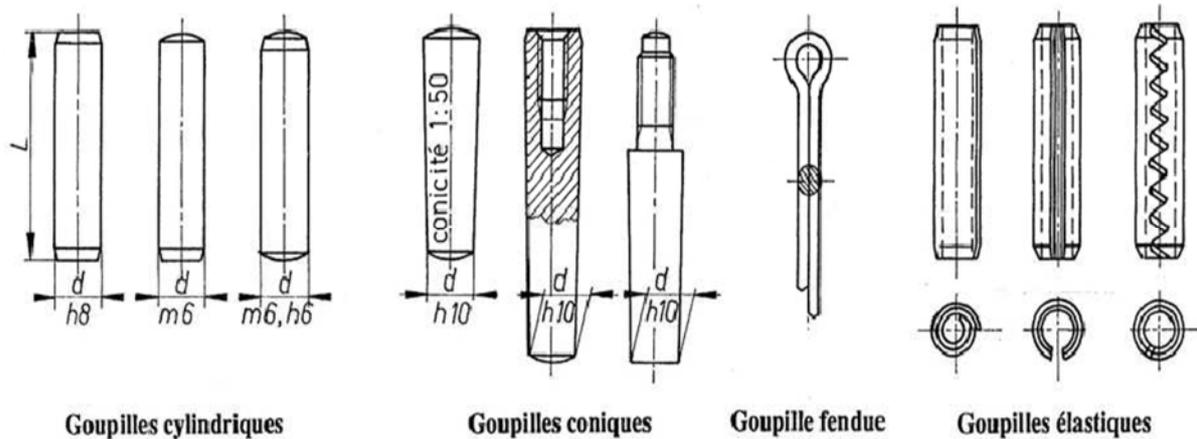


Figure7: Typologie des goupilles.

a. Goupilles cylindriques

Ce type est utilisé pour centrer deux pièces l'une par rapport à l'autre. Le montage de ces goupilles s'effectue généralement en les chassant dans la pièce massive et en les laissant coulisantes dans la pièce mobile. La pression résultante entre goupille chassée et les pièces ne peut être qu'estimée car la forme des pièces massives ne correspond habituellement pas au cas idéal de calcul.

b. Goupilles coniques

Les goupilles coniques sont fabriquées généralement avec une conicité de 1/50, grandeur diamétrale de 1 mm pour 50 mm de longueur. Elles existent en plusieurs exécutions et variantes. La dimension nominale de la goupille est définie sur le petit diamètre du tronc de cône. Pour qu'elles se démontent facilement au moyen d'une vis ou d'un écrou, elles sont munies de trou taraudé ou de téton fileté. Elles s'emploient lorsque le logement dans les pièces est borgne. Les goupilles cylindriques et coniques exigent un usinage onéreux, en particulier les goupilles coniques, et sont à éviter dans les constructions usuelles.

Si des impératifs sévères de centrage ou de positionnement sont exigés, ces éléments sont les seuls à remplir ces fonctions. La goupille conique impose des ajustements longitudinal et diamétral de cet élément dans le logement alésé dans les pièces.

c. Goupilles fendues

Les goupilles fendues, en acier à surface zinguée bleu, servent de sécurité sur des axes ou des tourillons peu sollicités. Les diamètres sont compris entre 1 et 8 mm d'une section transversale demi cylindrique. Les goupilles simples ou doubles à ressort sont constituées d'un

fil d'acier cylindrique cintré, diamètres 1 à 8 mm, et servent de sécurité dans des mécanismes très peusollicités.

d. Goupilles élastiques

Ces goupilles permettent un montage simplifié dans l'assemblage par un simple perçage. La pression exercée par la goupille suffit habituellement dans les assemblages modérément sollicités. Si l'assemblage exige un positionnement précis des pièces ou si les efforts sont importants et variables, seules les goupilles à section pleine peuvent donner satisfaction.

I.2.2.2 Clavètes

Dans l'assemblage des arbre-moyeu, l'organe mécanique le plus souvent rencontré est la clavette. La figure 8 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 [1].

La plupart des clavettes réalisent exclusivement la fixation tangentielle (reprise du moment). La fixation axiale doit être obtenue par un autre moyen : une vis de pression; un montage serré; des circlips ou des écrous; un épaulement de l'arbre et un circlips ou un écrou[1].

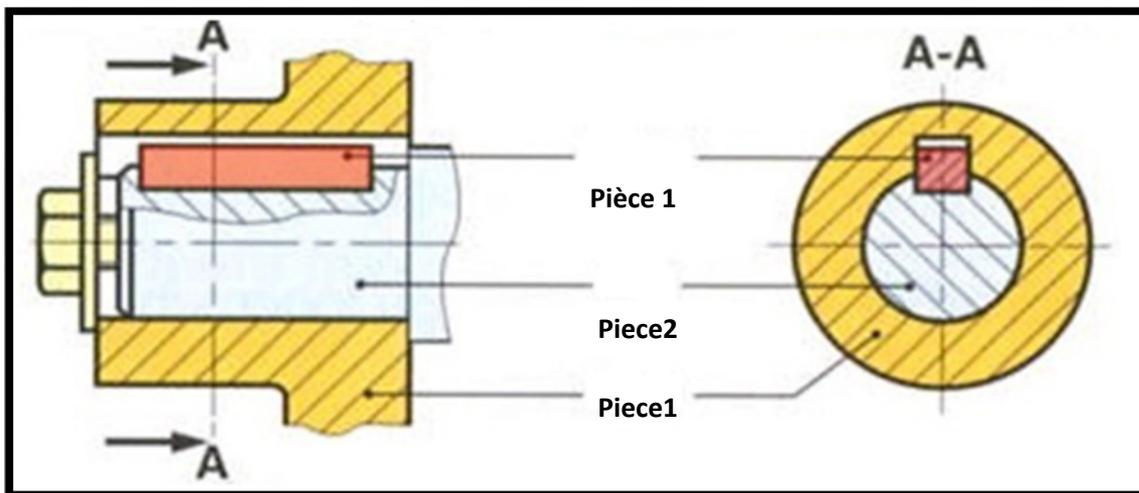


Figure 8: Clavetage.

I.2.2.2.1 Classification du clavetage

Selon le mode d'emploi et le montage, le clavetage peut être classifié en trois grandes familles (figure 9); le clavetage transversal où les clavettes sont montées parallèlement avec l'axe des pièces assemblées, le clavetage longitudinal où les clavettes sont montées perpendiculairement sur l'axe des pièces assemblées et le clavetage tangentiel où les

clavettes sont montées radialement sur la tangente de la surface de contact entre les pièces assemblées.

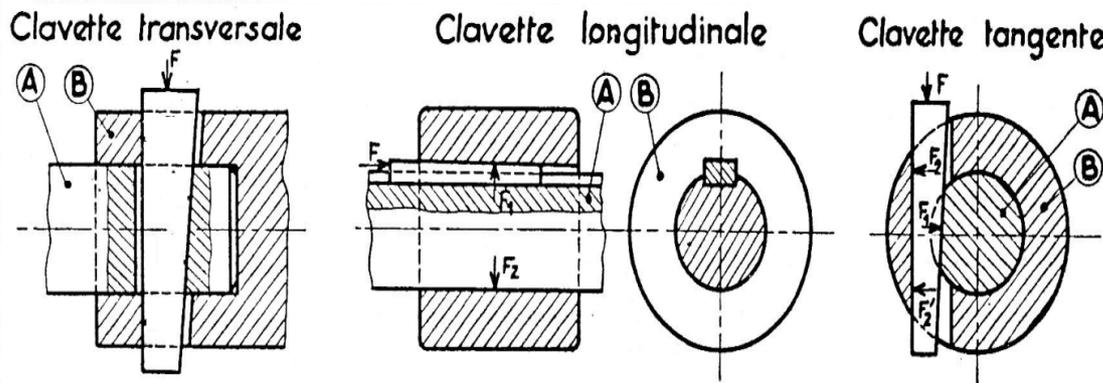


Figure 9: Types des clavetages

Les clavettes longitudinales présentent la classe la plus utilisée en construction mécanique. Selon l'emploi, on distingue deux types; le clavetage longitudinal forcé et le clavetage longitudinal libre.

a. 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).

b. Clavetage longitudinal libre

Ce type de clavettes n'assure que la liaison en rotation, l'arbre peut coulisser donc dans le moyeu. Leur montage se fait avec un léger jeu ce qui diminue la précision cinétique. Elles sont utilisées que pour le clavetage court ($d < 1,5d$).

c. Clavetage transversal

Cette technique est utilisée pour immobiliser en rotation et en translation deux pièces généralement coaxiales. La liaison obtenue peut transmettre de grands efforts axiaux et des couples assez importants.

d. Clavetage tangent

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

I.2.2.3 Segments d'arrêt

Appelés aussi les circlips, les segments d'arrêt sont des organes d'assemblage utilisés souvent pour immobiliser en translation des pièces cylindriques sollicitées par des charges axiales constantes ou peu variables. Monté dans un alésage ou sur un axe, le but de segment est de former un épaulement frontal qui bloque les pièces appuyées contre lui tout en occupant une place très limitée. Ces éléments ont la forme d'un anneau ouvert de section transversale, habituellement, rectangulaire afin de faciliter le montage [1].

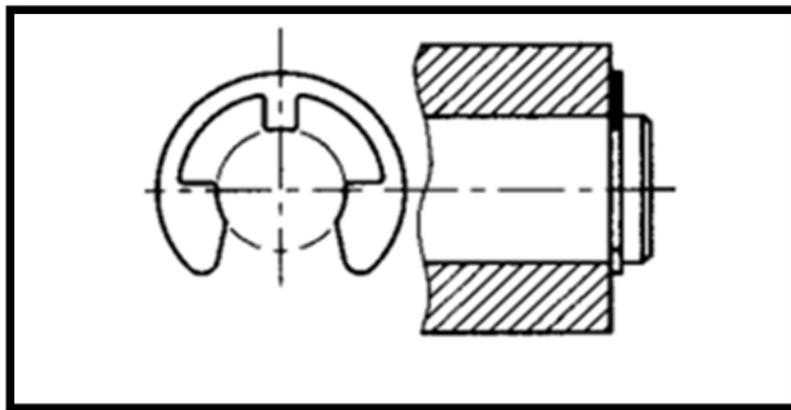


Figure 10 : segment d'arrêt.

I.2.2.3.1 Classification des segments d'arrêt

Ces éléments d'assemblage sont partiellement normalisés mais il existe des formes moins courantes. Ces types sont utilisés dans des montages particuliers. Nous citons dans cette section que les types les plus couramment rencontrés dans la construction.

a. Segments standards

La famille des segments d'arrêt standards regroupe les segments d'arrêt à montage axial dans des gorges. on trouve dans cette famille trois normes (Figure 11): la norme f, contenant les segments universels capables de transmettre des efforts axiaux importants entre la pièce exerçant la poussée et la paroi de la gorge, la norme J, caractérisée par une hauteur radiale de montage inférieur à celle de f et forme un épaulement concentrique ce qui permet de les utilisés dans les cas d'espace radial réduit et la norme K, possédant des expansions uniformément réparties sur le périphérique qui assurent ainsi une

meilleure fixation.

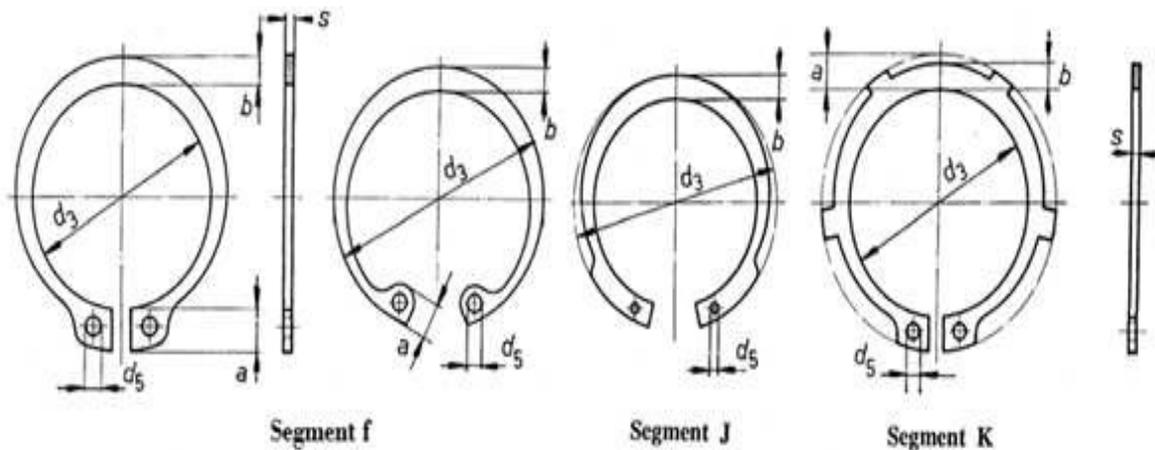


Figure 11: Segments d'arrêt standards.

b. Segments compensant le jeu axial

Ces segments ont le caractère de compenser élastiquement le jeu axial dû au cumule des écarts d'usinage de la gorge et des pièces montées. La figure 12 présente les trois normes les plus fréquemment rencontrées.

Les segments de type L ont la forme des segments K en tenant leur élasticité de l'inclinaison des expansions. Les segments W peuvent compenser des jeux sensiblement plus importants tout en exerçant un effort plus faible. Les rondelles SL, à montage radial, possède une forme bossée dans un sens ce qui permet la compensation des jeux axiaux.

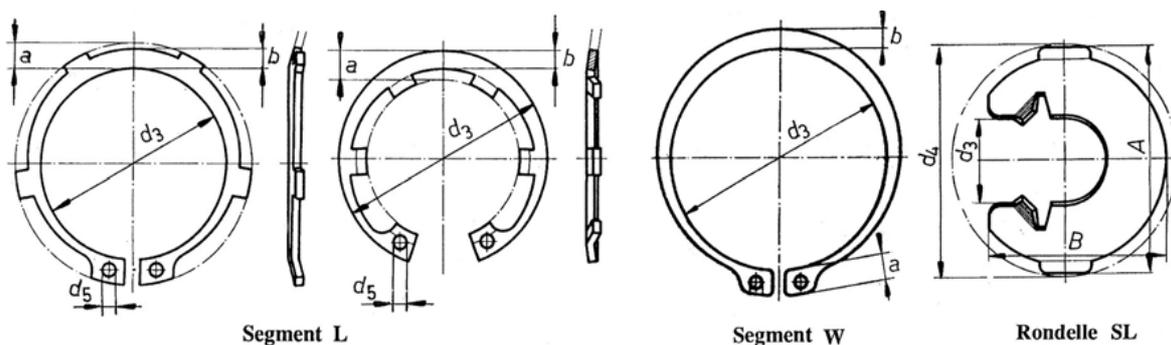


Figure 12: Segments d'arrêt compensant le jeu axial.

c. Segments à montage radial

Le montage radial assure deux avantages liés, d'un côté au choix libre de la profondeur de la gorge et d'un autre à la possibilité de montage manuel. Cette famille de segment comporte les types suivant (Figure13): Les segments cavaliers et les segments colliers ayant une force de portance élevée grâce à leur largeur importante. Ils sont employés pour les petits axes. Les segments croissant sont les seuls segments à montage radial qui possède une hauteur d'épaulement faible. Ainsi, les anneaux en deux pièces sont les seuls segments qui résistent à la force centrifuge.

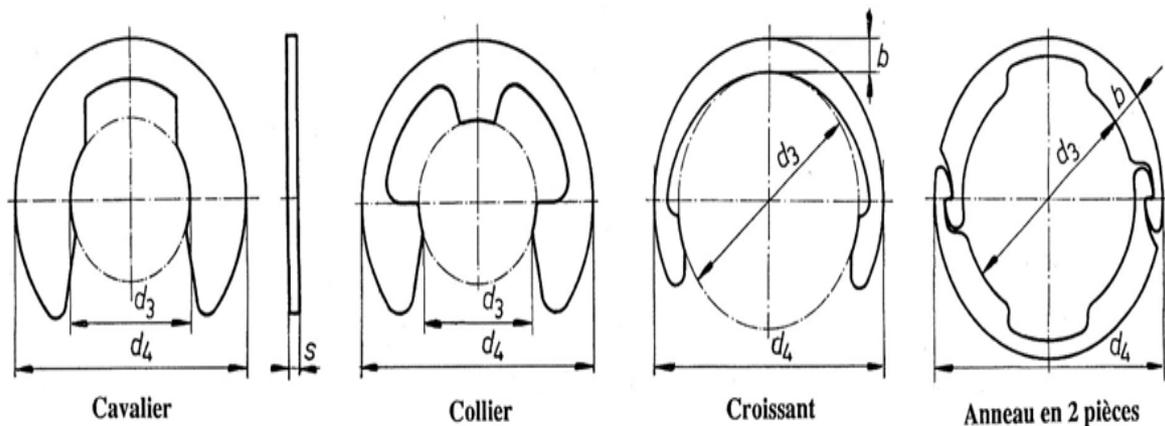


Figure 13: Segments à montage radial.

d. Segments à verrouillage autonome

Ce type de segments est utilisé dans le cas des arbres ou alésages lisses dépourvus de gorge. Il regroupe les normes suivantes (Figure 14): Les segments collier utilisés sur les arbres lisses sans gorge, de faible diamètre. Les triangles de blocage de forme transversale bombée, menée de trois languettes renforcées exerçant un effet de ressort. Enfoncés, dans le sens de la face intérieur du bombage, sur un arbre lisse, ce segment assure un blocage parfait des pièces montées sur l'arbre à des triangles intérieurs. La poussée dans le sens opposé bloque les triangles sur l'arbre et rend le démontage impossible. Les anneaux dentelés ont la même fonction des triangles de blocage tout en possédant une hauteur de montage réduite.

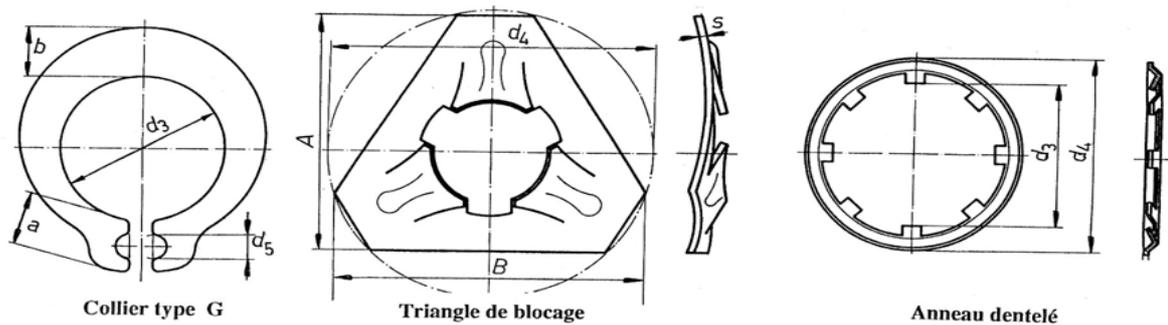


Figure 14: Segments à verrouillage autonome.

I.2.2.4 Cannelures et dentelures

Si l'arbre de transmission doit supporter un couple de torsion relativement élevé par un assemblage à clavette, la pression maximale entre la clavette, l'arbre et le moyeu devient trop grande, donc inadmissible. Dans ce cas, l'introduction de deux clavettes n'est pas recommandée. Il est préférable de prévoir un assemblage à arbre-moyeu cannelés ou dentelés [1].

I.2.2.4.1 Classification des assemblages à dentelures ou cannelures

Il existe plusieurs techniques d'assemblages qui utilisent les dentelures ou cannelures.

a. Cannelures à flancs parallèles

Les cannelures sont taillées dans l'arbre, sa forme, ses dimensions et leur nombre étant normés. Le couple de torsion devrait pouvoir se transmettre uniformément par toutes les faces portantes des cannelures. Cet assemblage est similaire à l'emploi multiple des clavettes parallèles.

b. Cannelures à flancs en développante

Les assemblages à denture basse, dites cannelures à flancs en développante, servent à créer des assemblages entre arbre et moyeu démontables, coulissants ou serrés permettant de transmettre des couples importants et de centrer les pièces tout en facilitant la fabrication des composants. Les bases de la normalisation sont :

- Des profils de référence commune pour tous les modules d'où relations générales pour la définition de toutes les dimensions.

-Centrage sur les flancs des dents, exceptionnellement sur le diamètre intérieur ou extérieur de l'arbre.

-Système de tolérance fixant les écarts sur les dimensions des dents de l'arbre et des creux dans le moyeu, les classes de qualité.

c. Dentelures rectilignes

L'avantage essentiel de l'utilisation des dentelures rectilignes est de pouvoir orienter facilement la position du moyeu par rapport à celle de l'arbre en décalant les deux pièces d'un ou de plusieurs pas circonférentiels. La denture est à profil triangulaire sur l'arbre, l'angle au sommet du triangle étant généralement 60° .

d. Stries radiales

L'utilisation des stries radiales, dit dentelures frontales, permet la réalisation des accouplements de précision et, le plus souvent, de position angulaire réglable.

I.2.3 Assemblage par adhérence

Dans les assemblages travaillant par frottement, la transmission des efforts entre les diverses pièces est assurée par la création d'une ou de plusieurs pressions élevées sur les faces en contact de telle sorte que la force de frottement d'adhérence soit supérieure aux efforts extérieurs appliqués sur l'assemblage. La sécurité de l'assemblage est donnée par le rapport entre l'effort limite provoquant le glissement des surfaces et l'effort réellement appliqué sur la structure. Dans ces montages, les surfaces de contact doivent jouer un grand rôle. Il est avantageux de présenter des états très parfaites [1].

I.2.3.1 Assemblage par emmanchement conique

Les assemblages par cônes permettent d'obtenir des montages simples entre un arbre et un moyeu tronconiques. Le centrage réciproque des deux pièces est assuré par une conicité identique sur les deux éléments. Ces assemblages présentent l'avantage d'un démontage facile. Mais ils sont plus chers (usinage précis pour obtenir la coïncidence des conicités). Dans les cas de transmission des efforts importants, il est souvent nécessaire de garantir le maintien de l'emmanchement, à l'aide d'un élément fileté. Les cônes irréversibles ne s'emploient seul que dans les machines-outils (contre-pointes de tour, forets).

I.2.3.1.1 Caractéristiques d'un assemblage conique

L'avantage essentiel de ce montage est la possibilité de manœuvre (montage et démontage) sans clé. Dans ce cas, l'assemblage d'un arbre-moyeu nécessite qu'un simple effort à la main nue.

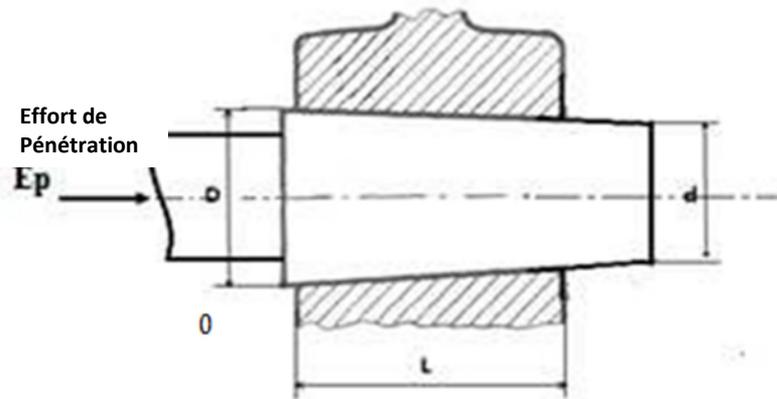


Figure 15: Assemblage par cône.

I.2.3.2 Assemblage par pincement

Dans les assemblages pincés, la pression de contact est obtenue par déformation des pièces ajustées au moyen de serrage d'un élément fileté. La figure 16 présente un exemple de ce montage où le collier fondu est serré à l'aide de deux rangés de n vis. Cette solution s'utilise pour la fixation de poulies et volants en deux parties. Elle permet la transmission de couple modeste entre de petits leviers ou pièces à fonction secondaire sur des arbres.

L'ajustement de la position axiale ou angulaire est fortement facilité par ce mode d'assemblage.

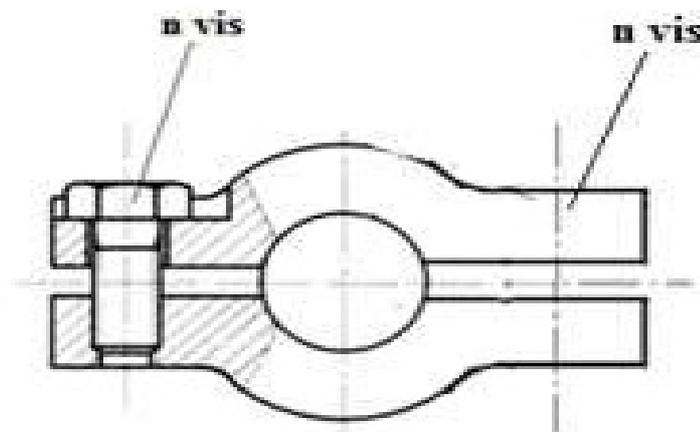


Figure 16: Montage par collier fondu.

I.2.3.3 Assemblage par douilles coniques fendues

Les douilles coniques fendues sont des manchons cylindriques à l'extérieur, coniques à l'intérieur (Figure17). Leur utilisation pour les arbre-moyeu permet d'éviter la conicité des alésages.

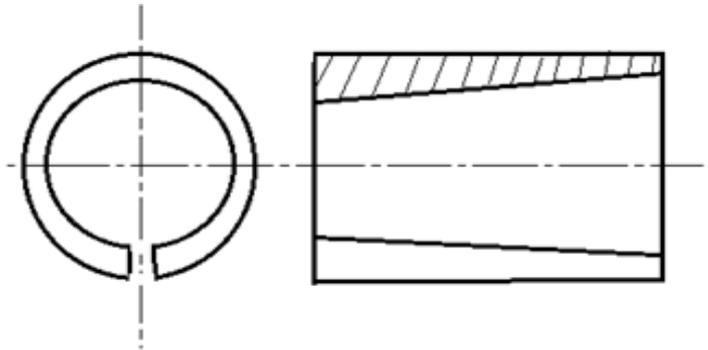


Figure 17 : Douille conique fendue.

I.3 Les assemblages non démontables

Une liaison permanente (non démontable) permet d'assembler des pièces en éliminant tout problème lié à la mise en position. Associé à cet avantage, un inconvénient très important, c'est l'impossibilité de démontage. En effet, et pour la neutralisation de cette liaison, il est nécessaire de détériorer l'une des pièces assemblées ou l'élément d'assemblage. Par conséquent, l'utilisation de cette solution constructive est classée parmi les derniers choix [1].

I.3.1 Assemblage par frettage

Le frettage (emmanchement forcé) consiste à faire adhérer un moyeu sur un arbre par la pression provenant d'une interférence.

Le diamètre effectif de l'alésage doit être inférieur à celui de l'arbre. En effet, il est réservé aux assemblages par pénétration cylindrique sans complément genre de clavette ou goupille.

I.3.1.1 Procédé defrettage

Les surfaces de liaison sont des cylindres (arbre-moyeu) de même diamètre nominal. Le blocage est obtenu par le choix d'un ajustement de telle qu'il existe toujours un serrage dans l'assemblage capable de transmettre un couple. Les aciers par lesquels sont réalisés les arbres et les moyeux doivent avoir une limite élastique supérieure à 400 MPa.

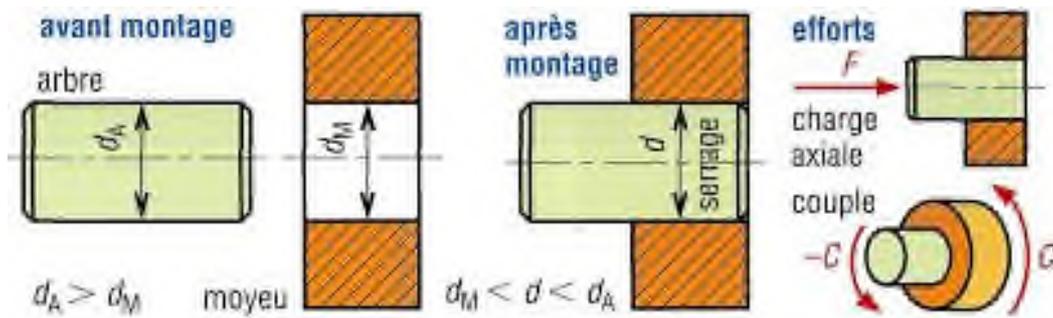


Figure 18: Montage par emmanchement forcé.

Le diamètre extérieur D du moyeu ne doit en aucune section être inférieur à $1,5 d$; diamètre intérieur du moyeu.

Avant montage, les surfaces de contact doivent avoir une rugosité; $0,2 < Ra < 0,8 \mu m$. Ainsi, l'arbre et moyeu doivent subir une préparation spéciale. La figure 5.2 représente les dimensions normalisées des chanfreins.

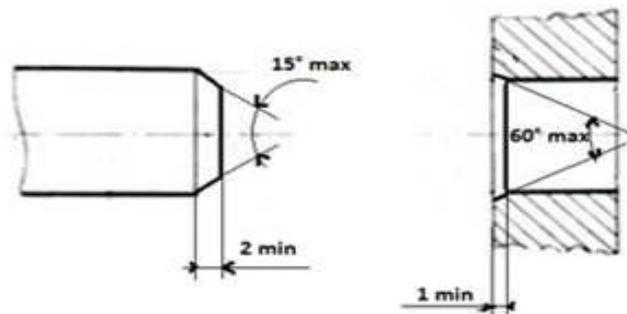


Figure 19: Préparation de l'arbre et du moyeu.

Selon la valeur maximale de serrage, il existe deux procédés de montage:

- 1) A la presse: la difficulté de mise en place n'impose pas que l'ménagement des extrémités de l'arbre et l'alésage (Figure 19) mais parfois la lubrification des pièces avant le montage. Ce procédé présente une méthodologie simple avec l'inconvénient d'un risque de grippage et une variation de serrage après montage. Par conséquent, les calculs de détermination des efforts axiaux et des couples ne s'appliquent pas pour cecas.
- 2) Par dilatation de l'alésage ou (et) contraction de l'arbre: En chauffant le moyeu, on peut dilater son alésage. Ainsi, le refroidissement de l'arbre peut contracter son diamètre. L'un de ces opérations ou les deux associées permet de produire un jeu avant le montage, ce qui facilite l'assemblage. Le serrage apparaît lorsque l'ensemble est

revenu à la même température.

I.3.2 Assemblage par soudage

Les pièces soudées ou brasées sont identifiables avant tout grâce au cordon de soudure joignant les différentes parties. Ce procédé est largement utilisé en construction des machines, on s'en sert pour fabriquer, soit des bâtis, soit des pièces de forme impropre à un usinage économique, que l'on ne peut ou ne veut pas obtenir par les procédés de fonderie.

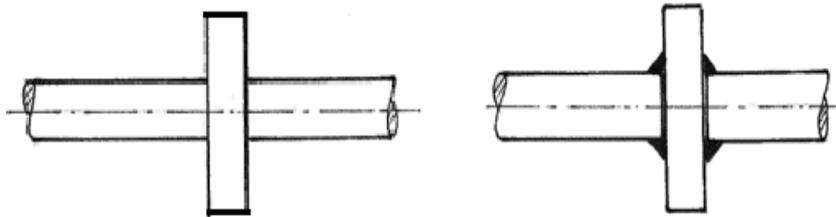


Figure 20 : Joints de soudure

Ainsi, pour fabriquer la pièce de la figure 20, un usinage au tour nécessiterait l'enlèvement d'une quantité de matière supérieure à celle de la pièce, ce qui n'est pas économique. Mais il est également possible de la réaliser par soudage. Cependant, à ces propriétés avantageuses, il faut en ajouter d'autres qui le sont un peu moins. Le refroidissement du cordon de soudure s'accompagne d'un retrait, et celui-ci peut provoquer des déformations modifiant les positions ou les cotes des pièces (Figure 21). Si ces déformations sont empêchées, il en résulte des contraintes résiduelles qui peuvent être dangereuses.

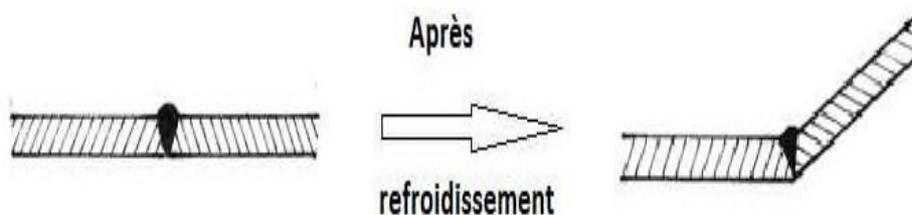


Figure 21: Déformation de retrait.

I.3.2.1 Soudabilité

Certains matériaux ont tendance à se fragiliser quand on les soude. La capacité d'un matériau à admettre une soudure sans devenir fragile est appelée soudabilité.

En règle générale, un acier est d'autant moins soudable qu'il contient plus de carbone. Jusqu'à 0,35% de carbone, l'acier est soudable sans problème. Au-delà, la soudabilité est limitée, ce qui signifie qu'il faut s'entourer de précautions, par exemple, chauffer les pièces avant

soudage, les revenir après. Certains aciers ont été développés spécialement pour obtenir une soudabilité améliorée.

Les fontes se soudent difficilement. Il ne faut les souder que pour d'éventuelles réparations, et cette opération demande des précautions spéciales.

L'aluminium et ses alliages se soudent assez bien, mais avec des postes à soudeuse fonctionnant en courant alternatif.

Le soudage des métaux spéciaux (titane, zirconium, tellure) demande des procédés appropriés.

I.3.2.2 Procédés de soudage

Le soudage autogène représente l'assemblage de deux matériaux de même type avec ou sans métal d'apport. Quant au brasage, ou soudage hétérogène, représente l'assemblage de deux métaux différents (Figure 22).

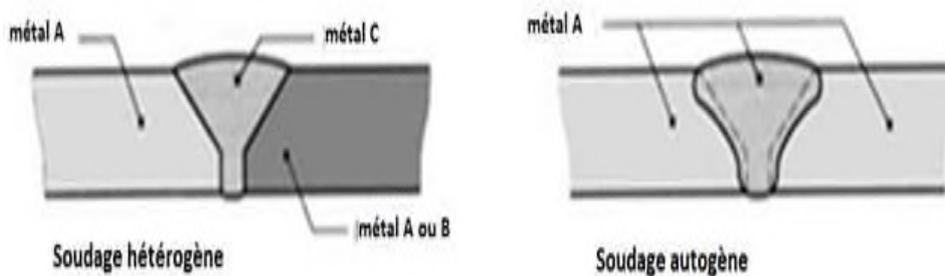


Figure 22: Procédé de soudage

Un recuit de détente est souvent réalisé sur les aciers pour éliminer les effets de trempe superficielle dus au soudage, suivi d'un refroidissement lent.

Selon la nécessité et les matériaux soudés, on distingue plusieurs types de soudages.

La distinction des types se fait généralement à l'aide du matériel utilisé. Dans ce sens, on peut citer les types de soudage suivants:

a. Soudage au chalumeau

Il s'effectue avec une flamme et un métal d'apport. Bien souvent, le métal d'apport est débité dans le métal servant à réaliser les pièces. En effet, ceci permet de souder exactement avec le métal choisi.

b. Soudage à l'arc électrique

La différence de potentiel entre l'électrode et les pièces à souder entraîne la fusion de l'électrode entre les deux pièces. Le cordon de soudure doit avoir une épaisseur et une hauteur régulièrement constantes pour présenter de bonnes caractéristiques d'assemblage.

c. Soudage par résistance

Dans ce type de soudage, appelé aussi soudage par effet de Joule, deux électrodes réalisent le soudage de deux pièces grâce à un fort courant électrique qui entraîne la fusion locale des tôles.

d. Soudage MIG, MAG (Métal Inert, Activ Gaz)

Ces types de soudage, très répandus, se font sur des postes semi-automatiques. Les soudures sont réalisées sous atmosphère inerte (MIG : argon ou hélium avec peu de CO₂) ou sous atmosphère active (MAG : le taux de CO₂ est plus important). Le gaz, actif ou inerte, conditionne la profondeur de pénétration de la soudure. Ainsi la soudure pénètre plus profondément pour le MAG que pour le MIG.

e. Soudage TIG (Tungsten Inert Gaz)

Cette méthode de soudage est réservée aux métaux difficilement soudables par d'autres méthodes (titane, acier inoxydable, aluminium, nickel, cuivre). Elle nécessite beaucoup de précautions (sensible à l'oxydation due à l'air), et son coût de revient est élevé.

I.3.3 Assemblage par collage**I.3.3.1 Définition**

Assemblage de pièces grâce à un contact intime avec un adhésif. Selon le type d'adhésif les liaisons seront interatomiques ou intermoléculaires. L'état de la surface, de la forme et de la propreté est essentiel pour la tenue mécanique de ce type d'assemblage.

Un adhésif est un matériau généralement organique qui assure la liaison entre deux matériaux qui sont de même nature ou de natures différentes l'un et l'autre. Dans le premier cas, l'assemblage réalisé sera dit homogène, dans le second cas, on parlera d'assemblage hétérogène [3].

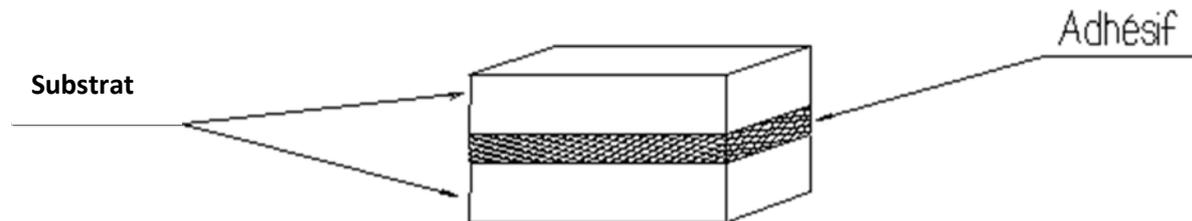


Figure 23 : Collage par adhésif.

I.3.3.2 Différents types de collage

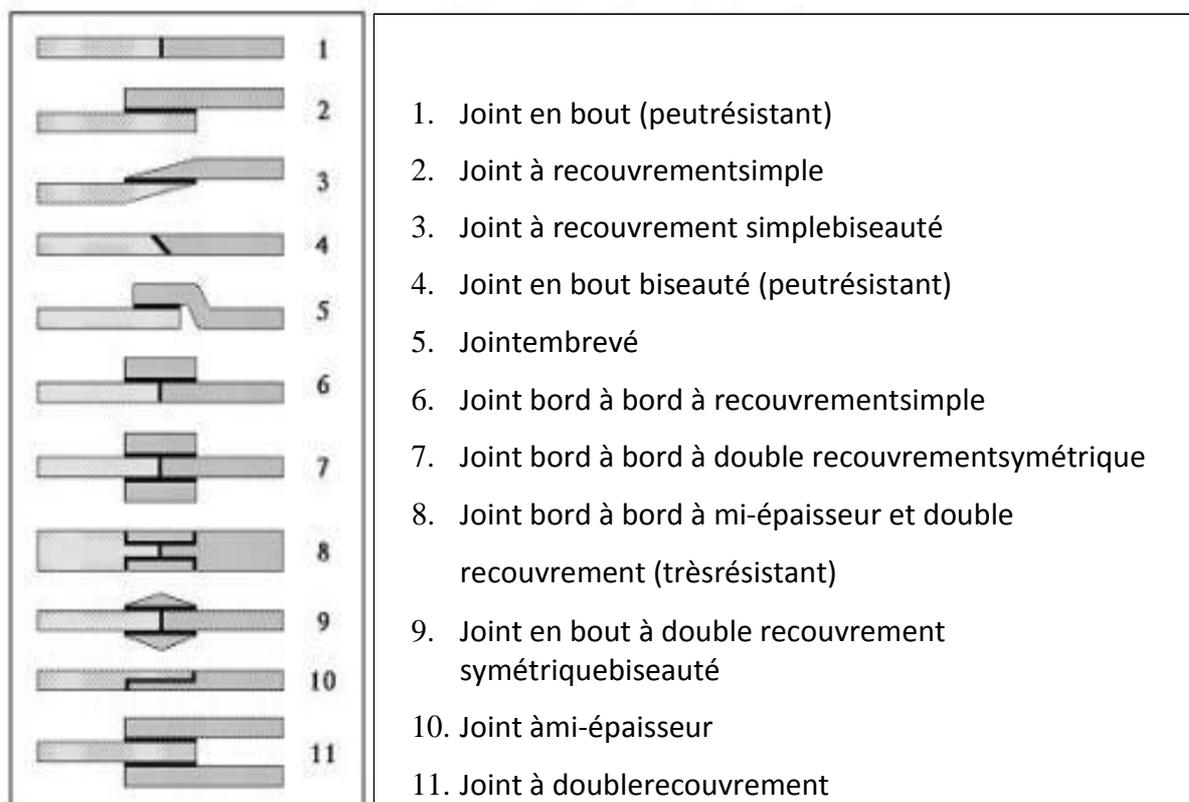


Figure 24 : Différents types du joint collé.

I.3.3.2.1 Collage en bout

(1 et 4 dans la figure ci-dessus), ne supportent pas d'importants efforts mécaniques. Mais, utilisé naguère par le "raccordeur de faïences et de porcelaines", qui réparait pour quelques sous les vaisselles brisées, est toujours pratiqué de nos jours par les spécialistes de la

restauration d'objets archéologiques, généralement des poteries à reconstituer à partir de fragments plus ou moins gros;

I.3.3.2.2 Collage par recouvrement

(2, 3, 5 et 11 dans la figure ci-dessus), est beaucoup plus résistant que le précédent et surtout le plus fréquemment utilisé, par exemple, pour réunir les deux parties d'une feuille de papier déchirée à l'aide d'un ruban adhésif, pour cacheter une enveloppe, appliquer un timbre autocollant, pour ressemeler une chaussure, pour fixer un revêtement mural, une moquette, pour assembler les divers éléments nécessaires à la réalisation d'un boîtier de montre (même les plus coûteuses sont collées !), pour fixer un pare-brise et la vitre arrière sur une carrosserie, pour poser un pansement adhésif ou un tulle enduit en vue d'une épilation, , pour étiqueter une bouteille, pour fabriquer un bouchon de champagne, pour fixer les verrous orthodontiques en vue d'embellir une denture déformée par une trop longue période de suçage de pouce, par exemple, etc... ;

I.3.3.2.3 Collage mixte

C'est-à-dire en bout et par recouvrement (6, 7, 8, 9 et 10 dans la figure ci-dessus), est utilisé pour confectionner des structures complexes, comme les skis constitués de matériaux divers, comme les charpentes en bois lamellé-collé.

I.3.4 Assemblage par rivetage

Le rivet se présente avant assemblage comme une tige possédant une tête, ayant une longueur suffisante pour pouvoir former la deuxième. Pour réaliser un assemblage par rivetage, le rivet utilisé doit avoir une longueur supérieure à la somme des épaisseurs pièces assemblées. Ainsi, le diamètre du trou, réalisé sur ces pièces, est supérieur au diamètre du rivet, pour faciliter le montage [1].

La liaison entre deux pièces minces (tôles) est réalisée par la déformation de l'extrémité du rivet en formant la deuxième tête. Cette opération, appelée « rivure », résulte un double épaulement qui fixe les pièces à assemblées l'une contre l'autre (Figure 25).

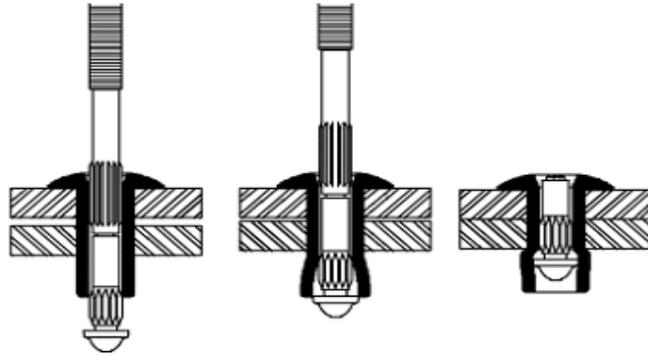


Figure 25 : Procédé de rivetage.

Les rivets d'acier ayant un diamètre de 10mm et plus sont posés à chaud. Tandis que les rivets d'acier de diamètre inférieur à 10mm, ainsi que les rivets de métaux légers et de cuivre sont montés à froid.

I.3.4.1 Classification des rivets

Selon la forme géométrique, on trouve plusieurs types de rivet. La figure 26 représente les modèles les plus rencontrés en pratique.

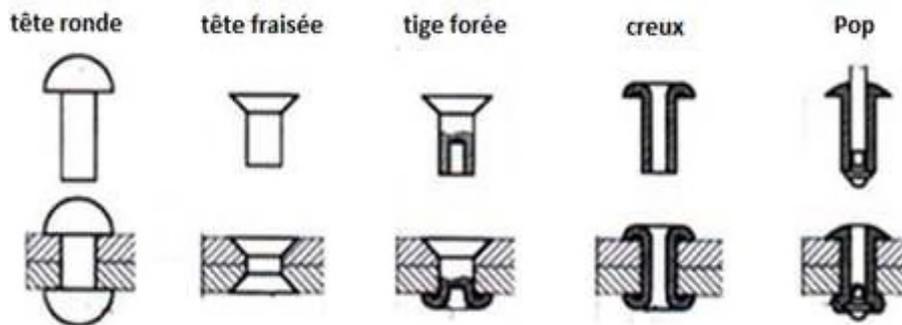


Figure 26: Types de rivets.

I.4 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une étude bibliographique des différents types d'assemblages et éléments d'assemblage des pièces mécaniques.

Le second chapitre sera consacré à une généralité sur les rivets, les éléments d'assemblage à étudier.

Chapitre II

Généralités sur les rivets

II.1 Introduction

Le rivetage est un processus qui consiste à assembler deux pièces l'une à l'autre pour les rendre solidaire, la liaison rivetée étant un assemblage structural réalisé par un grand nombre de rivets, compte tenu de la nature hyperstatique de la liaison et des phénomènes locaux (tolérance, mécanique des contacts), il est impossible de déterminer avec précision les efforts transmissibles.

II.2 Définition d'un rivet

Un rivet est un élément d'assemblage définitif. Il se présente sous la forme d'une tige cylindrique, généralement métallique, pleine, qui est munie à l'une de ses extrémités d'une «tête» c'est-à-dire une partie de section plus grande.

L'autre extrémité sera forgée à chaud, de façon à former une tête seconde pour solidariser les éléments à assembler. Cette opération est désignée sous le terme de rivetage.

La construction des ponts en arc, à poutres treillis ou âme pleine, au XIX^{ème} siècle et début du XX^{ème}, avant le développement de la soudure, a largement fait appel à ce mode d'assemblage par rivetage [5].

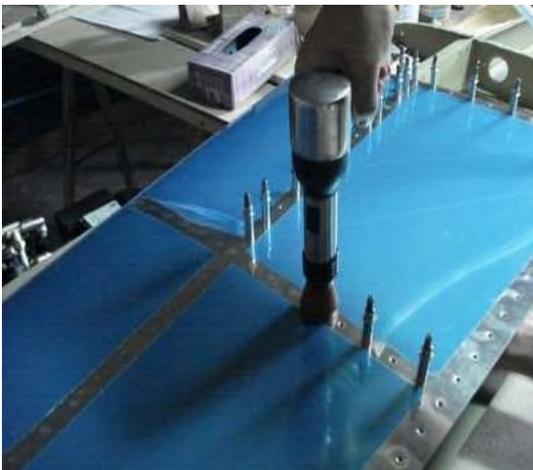


Figure 1 : Assemblage riveté

II.3 L'aspect réglementaire des rivets

Le règlement du 29 août 1891 est le premier à définir des caractéristiques de matériaux pour les éléments d'assemblage. Toutefois ceux-ci s'appliquent uniquement aux ponts rails.

Ce règlement distingue deux matériaux, le fer et l'acier, ce dernier présentant principalement une ductilité plus élevée [5].

Tableau I : Caractéristiques des matériaux – Règlement de 1891

	Résistance à la traction (kg/mm ²)	Allongement (%)
Rivets en fer	36	16
Rivets en acier	38	28

Dans le texte réglementaire du 29 octobre 1913, seuls les rivets en acier subsistent avec les caractéristiques:

Tableau II : Caractéristiques des matériaux – Règlement de 1913

	Limiteélastique (kg/mm ²)	Rupture (kg/mm ²)	(%)
Rivets	20	38	28

II.4 Domaine d'utilisation des rivets

Les rivures constituent des assemblages permanents. Selon leur destination, on distingue traditionnellement

- Les rivures de force, que l'on rencontre dans les constructions métalliques en acier ou en métaux légers;
- Les rivures de force et d'étanchéité, en chaudronnerie ;
- Les rivures d'étanchéité, dans les réservoirs, les cheminées en tôles, les tuyauteries sans surpression ;

- Les rivures de liaison des éléments de tôles (aviation, automobile).

Dans beaucoup d'applications, les rivures ont été supplantées par la soudure. Une rivure demande en effet plus de travail, et les pièces soudées sont plus simples et moins chères. En outre, le façonnage des rivets à la bouterolle soumet l'ouïe des ouvriers à rude épreuve. Cependant, les rivures sont très sûres et d'un contrôle très facile (au son, quand on frappe l'assemblage). Par ailleurs, dans le cas des alliages légers, on préfère encore souvent la rivure qui permet d'éviter les conséquences de l'échauffement de soudage [10].

Les rivets sont utilisés couramment pour assembler les parties du fuselage et d'ailes des avions (Figure 28) [4]. En effet, l'assemblage d'une structure d'avion exige près de 2 500 000 rivets, dont la pose représente 30 % du temps total de montage. Le rivetage est encore largement utilisé dans les applications où la légèreté et la résistance demandées sont critiques, comme dans un avion.



Figure 2 : Présente les différents types des rivets, ils sont différenciés par leurs têtes.

II.5 Type derivets

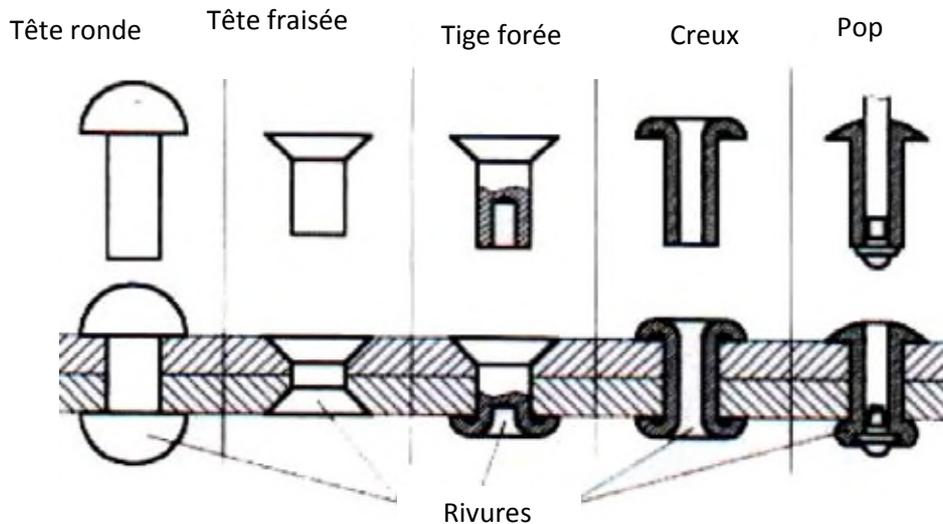


Figure 3 : Les différents types des rivets

II.6 Les avantages et inconvénients de l'utilisation des rivets

II.6.1 Avantages des rivets

- Les rivets sont recommandés pour assembler les plaques minces $e < 0,6$ mm ou quand il y a une impossibilité de souder des plaques très épaisses.
- Ils sont utilisés dans les constructions qui travaillent en vibration.
- Ils sont employés aussi pour les matériaux qui ne peuvent pas être soudés ou ne supportent pas le soudage car l'échauffement dû au soudage génère un revenu, un gauchissement et des déformations dans ces matériaux. En effet, on ne soude pas les tôles sur lesquelles des déformations ou modifications des propriétés du matériau peuvent être apportées.
- Ils conviennent aux assemblages de matières et épaisseurs différentes et aux assemblages qui sont exposés au phénomène de fatigue contrairement au soudage.
- Les rivets sont moins coûteux que les boulons [4].

II.6.2 Inconvénients des rivets

- Le volume d'horaire pour le montage des rivets est accru.

- Les trous affaiblissent les sections actives de la construction.
- Un grand poids des rivets qui se rajoutent au poids de la construction, le cordon de soudage ne contribue pas à l'augmentation du poids total de la construction.
- Pas de possibilité de riveter les plaques très épaisses $e > 25$ mm, il faut utiliser dans ce cas les boulons.
- Le rivetage est moins productif que le soudage [4].

II.7 Mise en place des rivets

La mise en place d'un rivet est effectuée avec une riveteuse dont l'extrémité opposée à la tête est rabattue vers l'extérieur en forme de couronne par une bouterolle. Cette opération est effectuée avec les démarches suivantes[3] :

- 1) Mise en place du rivet;
- 2) Mise en place de la bouterolle sur le rivet;
- 3) Ecrasement de la tige du rivet et formation de la tête;
- 4) Rivet posé.

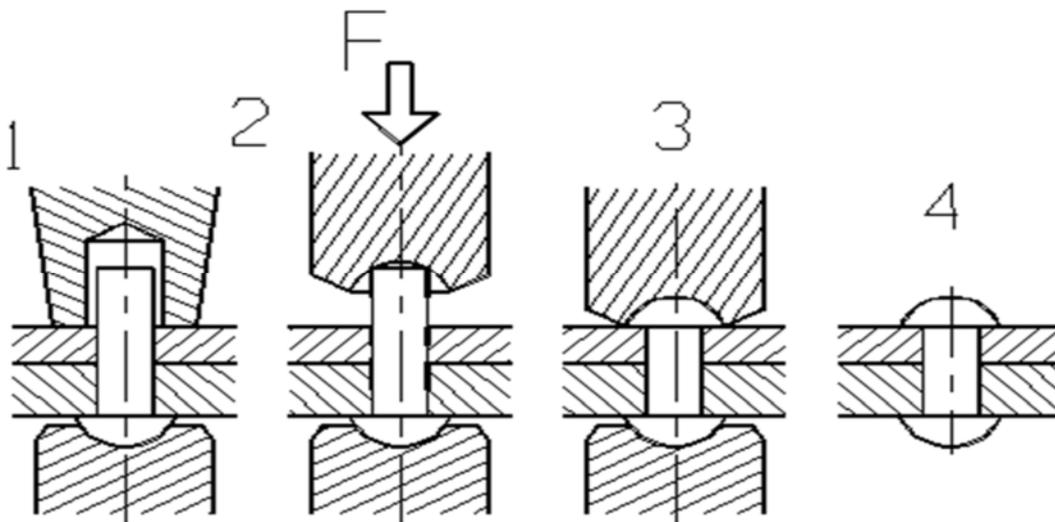


Figure 4:Façonnage des rivets.

II.8 Montage des rivets

II.8.1 Montage à chaud

On chauffe le rivet dans un bain d'huile à haute température, il se dilate sous le fait de la température, on le place alors à chaud dans les trous des deux tôles puis il se refroidit. Ce rivet donc se contracte et il serre énergiquement les deux tôles en série, on peut dire qu'on obtient un assemblage d'adhérence. Il résiste beaucoup plus à la traction et au cisaillement.

Et pour l'acier, on utilise ce type de montage pour les rivets d'acier ayant un diamètre nominal supérieur ou égal à 10 mm ($d \geq 10\text{mm}$) [3].

II.8.2 Montage à froid

Le rivet est monté par écrasement du matériau qui forme des obstacles (tête du rivet et la rivure).

L'assemblage obtenu est un assemblage par obstacle. Il résiste beaucoup plus au cisaillement. Et pour l'acier, on utilise ce type de montage pour les rivets d'acier ayant un diamètre nominal inférieur ou égal à 10 mm ($d < 10\text{mm}$) [3].

II.9 Principe de formation de la rivure

Le rivetage se fait soit à la main ou en utilisant une riveuse, électrique, pneumatique, hydraulique, etc. Les rivets d'acier jusqu'à 12 mm de diamètre se posent à froid ; les rivets possédant un diamètre supérieur à 12 mm se posent à chaud. L'idéal est que le métal du rivet remplisse tout le trou après la rivure en ne laissant aucun jeu entre le rivet et le trou. Dans le cas du rivetage à chaud, ce jeu est le résultat du rétrécissement du diamètre de la tige après son refroidissement. Ce jeu provoque aussi un défaut d'étanchéité, diminue la résistance et la rigidité de l'assemblage et favorise la rupture du rivet. En effet, la contrainte ne sera pas distribuée uniformément au niveau de la tige du rivet. Il est avantageux de chauffer seulement l'extrémité de la tige pour former la rivure [4].

II.9.1 Rivetage à froid d'un rivet à tête ronde

La Figure 5 montre le principe de rivetage à froid par l'utilisation d'une bouterolle, celle-ci déforme l'extrémité de la tige sous l'action d'un choc discontinu (marteau manuel ou pneumatique) ou continu (presse hydraulique ou pneumatique). La partie de la tête du rivet est bloquée pendant l'opération du rivetage par une contre bouterolle. La liaison obtenue est une liaison par obstacle complète non démontable, par conséquent, le rivet travaille d'avantage au cisaillement [7].

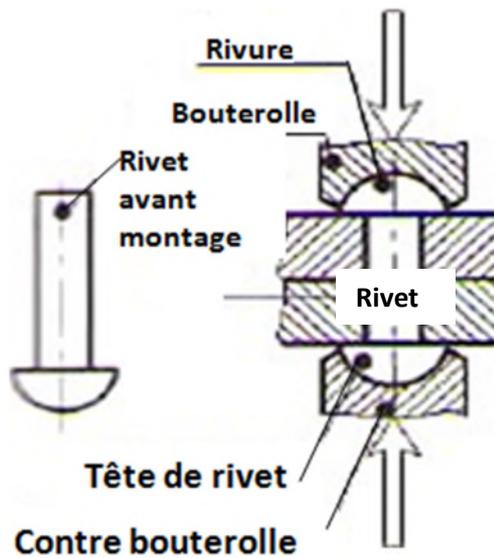


Figure 5 : Principe de rivetage à froid d'un rivet à tête ronde

II.9.2 Rivetage à chaud d'un rivet à tête ronde

Dans le cas de rivetage à chaud, après refroidissement, le rivet se rétracte longitudinalement en serrant les pièces et transversalement en créant un jeu diamétral, le rivet ne travaille plus au cisaillement mais à l'extension et liaison obtenue se fait par adhérence (Figure 6)[8].

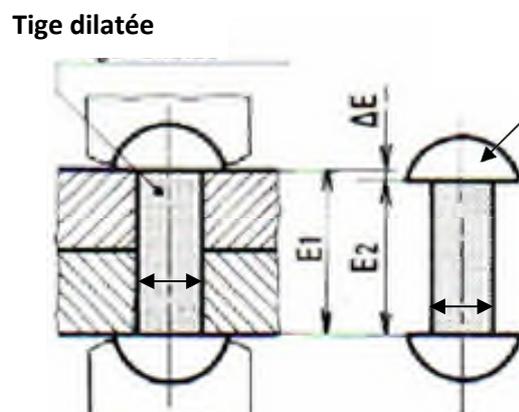


Figure 6 : Rivetage à chaud d'un rivet à tête ronde

II.9.3 Rivetage à froid d'un rivet creux

Ils se posent à froid à l'aide d'une pince formant l'ensemble bouterolle/contre bouterolle (Figure 7) [7].

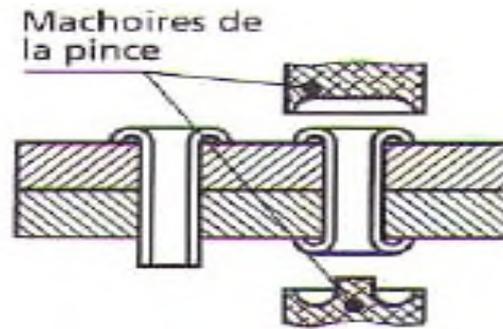


Figure 7 : Rivetage à froid d'un rivet creux

II.9.4 Rivetage à froid d'un rivet Pop

Ces rivets industriels permettent la formation d'une rivure sur une face inaccessible (Figure 8). La pince exerce un effort de traction sur la tige tout en plaquant la tête contre la pièce, l'action de traction étire la tige et la fait rompre tout en écrasant la rivure contre la face inaccessible. La figure ci-dessous montre les étapes de réalisation de ce type de rivetage [4].

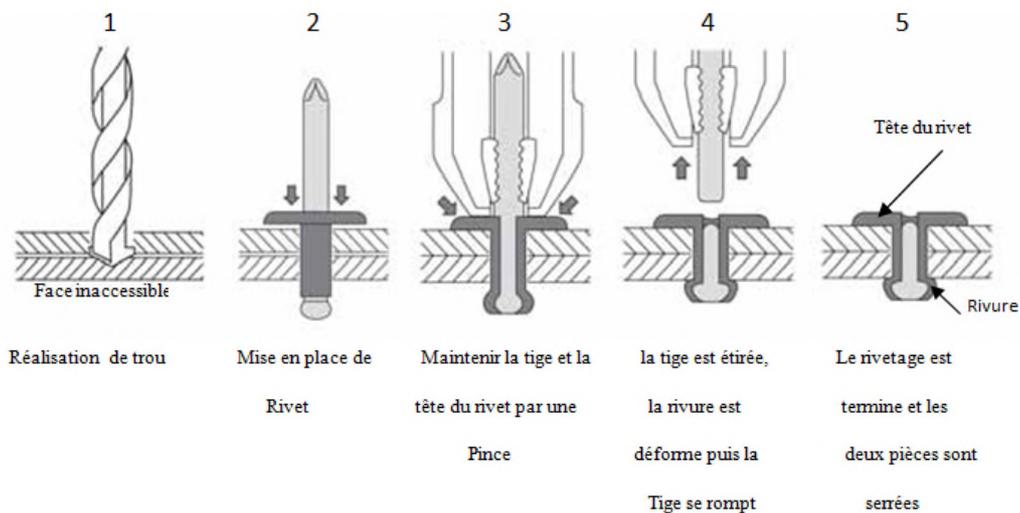


Figure 8 : Rivetage à froid d'un rivet Pop

II.10 Dispositions des rivets

On distingue les rivures par la forme de leur joint, nous avons des rivetages à couvre joint ou sans couvre joint (à clin) ; suivant la disposition des rivets on a les rivetages simples, doubles ou quinconce (voir la Figure 9). En effet, les couvre joints améliorent la rigidité de l'assemblage [6].

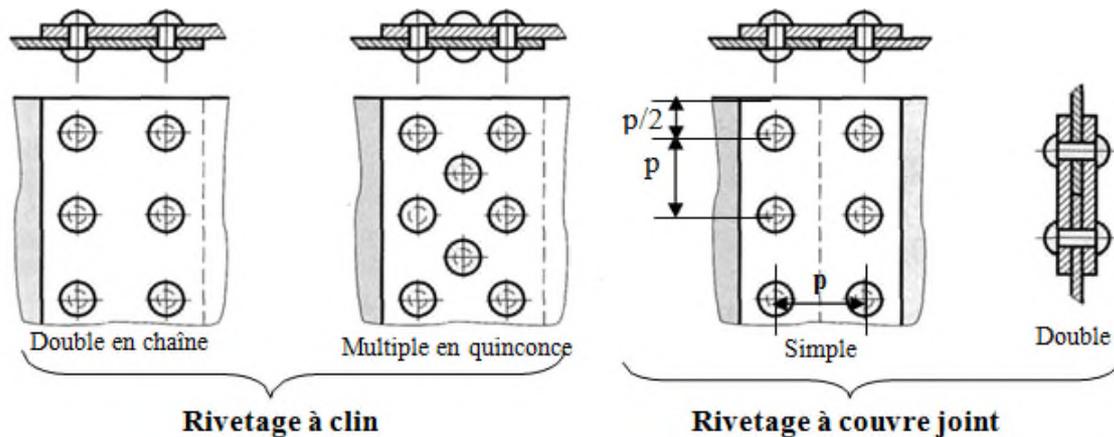


Figure 9: Dispositions usuelles des rivets

Les rivetages double en chaîne, quinconce et simple subissent un cisaillement simple c'est-à-dire une seule section du rivet qui sera cisailée (Figure 10 (a)), alors que les rivetages à couvre joint double subissent un cisaillement double c'est-à-dire deux sections du rivet qui seront cisailées (Figure 10 (b)) ces derniers sont donc plus résistants que les premiers[9].

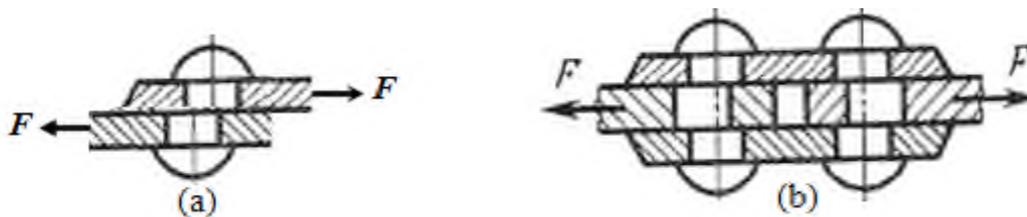


Figure 10 : Mode de cisaillement des rivures (a) section mono-cisailée (b) sections bi-cisailées

Le choix du diamètre d du rivet est en fonction de l'épaisseur e de l'élément le plus épais à assembler[9].

Le diamètre de perçage des trous de passages des plaques est :

$$d = 45e / (15 + e)$$

Le diamètre de perçage est égal à $1,1d$ ou $1,05d$ si une étanchéité est exigée. Le pas p entre les rivets est compris entre $3d$ et $10d$ (Figure 11).

e

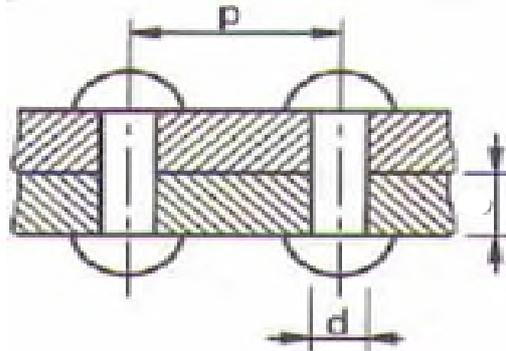


Figure 11: Dimensions d'un assemblage riveté

II.11 Mode de sollicitation des assemblages rivet

Dans un assemblage rivet, le mode de transmission des efforts s'effectue par sollicitation au cisaillement des tiges des rivets aux interfaces des tôles assemblées. Ceci implique le remplissage par fait des trous par les tiges de rivets. Compte tenu du refroidissement, donc de la contraction thermique, l'assemblage présente un effort de serrage des pièces, ce qui confère une certaine part de fonctionnement au frottement. Toute fois celui-ci n'est pas pris en compte dans le dimensionnement [5].

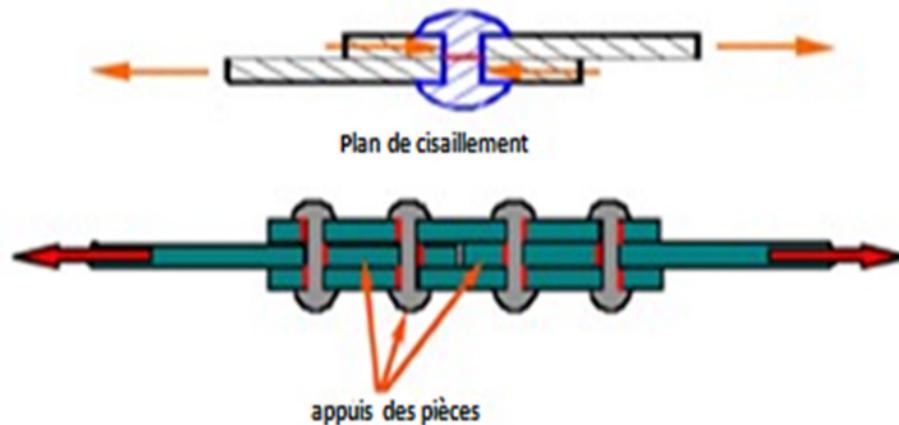


Figure 12 : Principe de fonctionnement

II.11.1 Les assemblages se caractérisent par les sollicitations suivantes :

- Effort perpendiculaire à l'axe du rivet (cisaillement);
- Effort parallèle à l'axe du rivet (traction);
- Effort incliné sur le plan du joint.

a. Effort perpendiculaire à l'axe du rivet (cisaillement)

C'est le cas des assemblages de continuité des poutres. Les efforts sollicitant les éléments assemblés peuvent être principalement des efforts normaux (assemblage des membrures) ou des efforts de cisaillement (assemblage des âmes). La continuité des pièces est assurée par des couvre-joints (figure 13) [5].

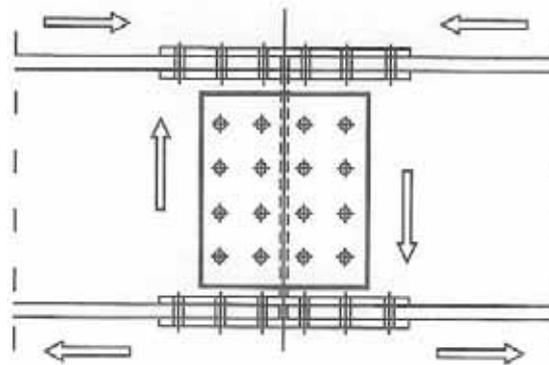


Figure 13 : Assemblages sollicités perpendiculairement à l'axe des rivets

b. Effort parallèle à l'axe du rivet (traction)

Cette disposition se rencontre surtout à l'attache des longerons sur les pièces de pont. Certains constructeurs se contentaient d'attacher l'âme du longeron sur celle de la pièce de pont à l'aide de cornières, la continuité des longerons de part et d'autre des pièces de pont provoque l'apparition de moment de flexion qui sollicite les têtes de rivets à l'arrachement. Une telle disposition peut, dans les cas extrêmes, provoquer la rupture des rivets [5].

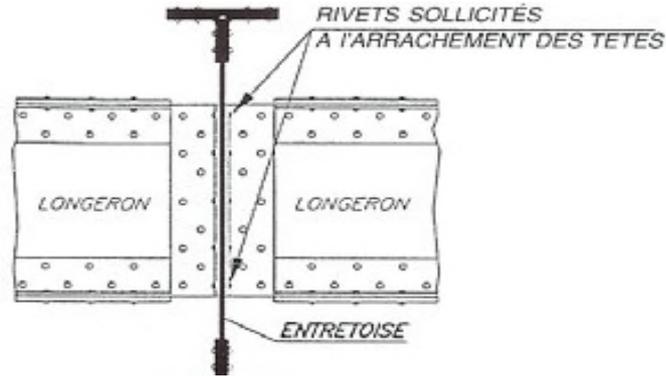


Figure 14 : Assemblages sollicités parallèlement à l'axe des rivets

II.12 Calcul sur les rivets

II.12.1 Estimation du diamètre de rivet

La première étape de calcul des rivets consiste à estimer le diamètre par une formule empirique qui dépend de l'épaisseur de la tôle [3].

$$d_{\text{riv}} = \frac{45e}{15+e}$$

d : Le diamètre du rivet [mm].

e : L'épaisseur de la tôle [mm].

II.12.2 Vérification au cisaillement

a. Cas de montage serré

Cette formule est valable lorsqu'il n'y a pas de jeu entre le rivet et la tôle (montage serré)[3].

$$\tau_{\text{cic}} = \frac{F_{\text{cic}}}{S_{\text{cic}}} = \frac{4F_{\text{cic}}}{\pi d_{\text{riv}}^2}$$

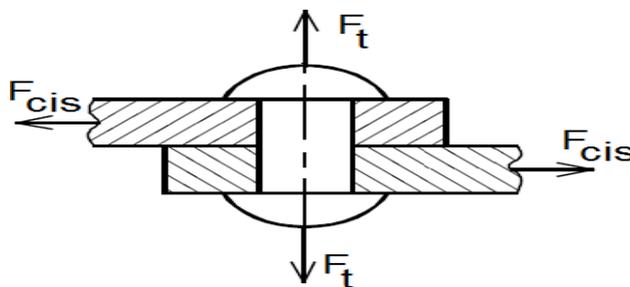


Figure 15: Sollicitations appliquées à un rivet sans jeu.

b. Cas de montage avec jeu

S'il y a un jeu entre le rivet et la tôle, on calcul la contrainte de cisaillement comme suit[3]

:

$$\tau_{cis} = \frac{4F_{cis}}{\pi(d_{riv}+1.6)^2}$$

1,6 : La cote supplémentaire.

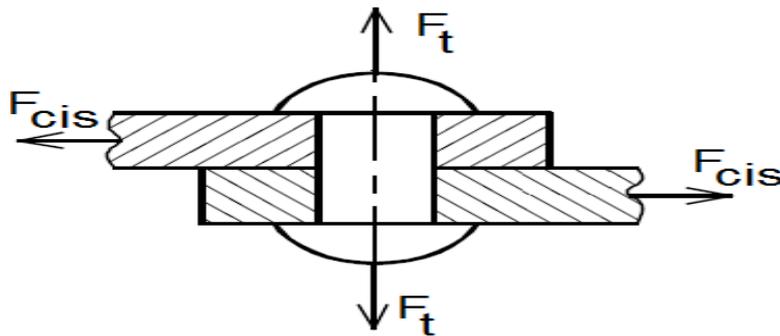


Figure 16 : Sollicitations appliquées à un rivet avec jeu

Pour que le rivet soit résistant, il faut que la contrainte réelle soit inférieure à la contrainte pratique (admissible):

$$\tau_{cis} \leq \tau_{prat}$$

$$\tau_{prat} = \frac{0.8 \sigma_e}{n_s}$$

τ_{cis} : Contrainte de cisaillement réelle [N/mm²].

τ_{prat} : Contrainte de cisaillement pratique [N/mm²].

σ_e : Limite élastique [N/mm²].

n_s : Coefficient de sécurité (2 à 3).

II.12.3 Nombre de rivets

- Pour un seul rivet, on a :

$$\tau_{cis} = \frac{F_{cis}}{S_{cis}} = \frac{4F_{cis}}{\pi d_{riv}^2}$$

- Pour un nombre de rivets égal à n, on a :

$$\tau_{cis} = \frac{4F_{cis}}{n\pi d_{riv}^2}$$

Alors, on obtient la formule du nombre de section :

$$n \geq \frac{4F_{cis}}{\tau_{cis}\pi d_{riv}^2}$$

n: Nombre de rivet qui supportent la force de cisaillement.

F_{cis}: La force de cisaillement appliquée sur la totalité des rivets.

d_{riv} : Diamètre de rivet en[mm].

II.12.4 Déformation due au cisaillement

On calcule l'angle de déformation due au cisaillement [3]:

$$\theta = \frac{\tau_{réelle}}{G}$$

θ : Etant l'angle de cisaillement.

$\tau_{réelle}$: Contrainte réelle provoquée par la force de cisaillement.

G : Le module de rigidité au cisaillement (G= 840 10⁸N/m²).

II.12.5 Calcul des rivets montés à chaud

Généralement les rivets qui sont montés à chaud sont soumis à la traction (en plus de cisaillement) et cela après le refroidissement[3].

- Cette formule est valable pour un rivet lorsque ce rivet est monté à chaud sans jeu initial.

$$\sigma_{tr} = \frac{F_{tr}}{S_{tr}} = \frac{4F_{tr}}{\pi d_{riv}^2}$$

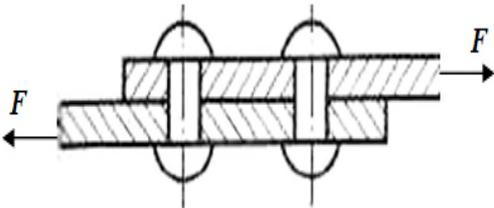
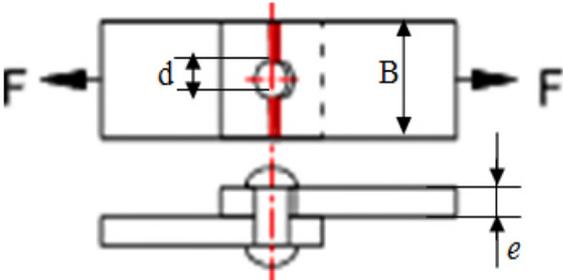
- Dans le cas de l'existence d'un jeu entre le rivet et les tôles, on utilise la formule suivante:

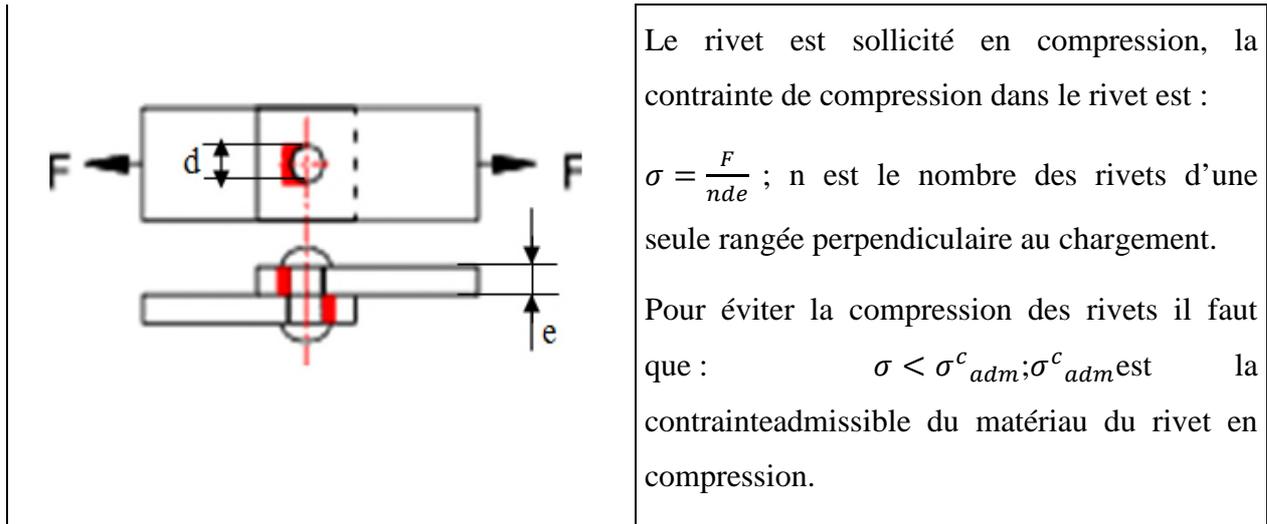
$$\sigma_{tr} = \frac{4F_{tr}}{\pi(d_{riv}+1.6)^2}$$

II.12.6 Calcul de la résistance des rivets et les membrures

Le Tableau III montre les différentes sollicitations appliquées sur l'assemblage riveté ainsi les différentes lois de calcul de la résistance des membrures (plaques) et des rivets et le nombre des rivets nécessaire pour maintenir l'assemblage[4].

Tableau III : Sollicitations et contraintes dans les membrures et rivets

Sollicitations appliquées sur l'assemblage riveté	Contraintes générées sur la membrure et rivet
	<p>Les deux rivets sont sollicités en cisaillement, la contrainte de cisaillement est :</p> $\tau = \frac{F}{2S}; S = \frac{\pi d^2}{4}; d \text{ est le diamètre du rivet.}$ <p>Pour éviter la rupture des rivets il faut que :</p> $\tau < \tau_{adm}; \tau_{adm} \text{ est la contrainte admissible de cisaillement du matériau du rivet.}$
	<p>La membrure est sollicitée en traction, la contrainte de traction dans la membrure est :</p> $\sigma = \frac{F}{(B-nd)e}; n \text{ est le nombre des rivets d'une seule rangée perpendiculaire au chargement.}$ <p>Pour éviter la rupture des rivets il faut que :</p> $\sigma < \sigma_{adm}; \sigma_{adm} \text{ est la contrainte admissible du matériau de la membrure.}$



I.13 Contrôle des rivets

Les rivets, qui doivent satisfaire aux prescriptions d'assemblage, font l'objet d'un contrôle visuel qui porte sur les têtes de rivets [5].

- Les têtes de rivets doivent être centrées .le décentrage de la tête par rapport à l'axe de la tige ne doit pas être supérieur à $0.15d_0$, où d_0 est le diamètre du trou.
- Les têtes de rivets doivent être bien formées et ne doivent présenter ni gerçures, ni cratères.
 - Les rivets doivent présenter un contact satisfaisant avec les pièces assemblées, aussi bien au niveau de la surface extérieure des épaisseurs que dans le trou. Aucun mouvement, ni vibration ni doit être détectée lorsque la tête du rivet est tapotée légèrement à l'aide d'un marteau.
- Une légère collerette régulière et bien centrée ne peut être acceptée que si un nombre restreint de rivets du groupe sont concernés.
- Les faces extérieures des pièces qui ne doivent pas présenter de marque causée par la riveteuse peuvent être spécifiées.

Pour le changement des rivets défectueux et si nécessaire, les trous sont alésés au diamètre immédiatement supérieur aux dimensions des rivets éliminés et les éléments assemblés endommagés doivent être réparés.

II.14 Travaux de réparation

II.14.1 dérivetage

En cas de rivet mal posé, les travaux de dérivetage seront conduits avec précaution. Ceux-ci sont interdits si la température du métal est inférieure à 5°C [5]. Les phases de dérivetage sont :

- Coupe des têtes à la tranche ou élimination de la tête par oxycoupage (sans blesser les pièces à conserver...) dans le cas de pièces en fer ou en acier. Dans le cas de faibles sections, il y a risque de fissuration et il sera préférable de procéder par perçage.
- Chasse du rivet à l'aide d'un marteau équipé d'un outil adapté au diamètre de la tige du rivet.
- Maintien des pièces sur l'envers lors du dérivetage Sur matériau fragile, lors du dérivetage, seul le perçage sera utilisé compte tenu du risque de rupture des pièces.

En cas de détérioration, les trous pour les nouveaux rivets seront alésés au diamètre immédiatement supérieur aux dimensions des rivets éliminés.

Dans le cas de modifications, les trous des éléments neufs sont, de préférence, contre-perçés sur place. Il est également possible de procéder à un pré-perçage d'après un gabarit des trous existants relevé sur place ; dans ce cas, les dessins doivent indiquer le diamètre de ce pré-perçage, qui doit correspondre à un alésage d'au moins 2 mm supérieur au diamètre primitif [5].

II.15 La pathologie des assemblages rivet

II.15.1 Défauts de pose

Les défauts de pose se détectent par l'examen de la tête seconde sur l'assemblage, ce sont [5]:

- Tête mal pincée.
- Tête excentrée.

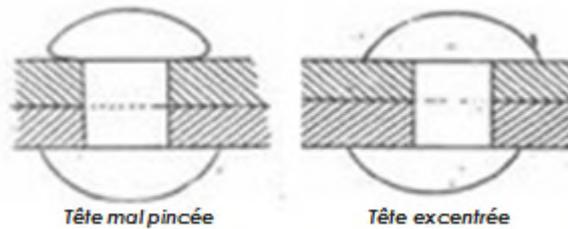


Figure 17 : Défaut de tête mal pincée et excentrée

-Gerçure du métal.

-Tige trop courte: se caractérise par le marquage de la bouterolle autour de la tête de rivet.

-Tête trop long: se caractérise par une collerette de métal autour de la tête de rivet.

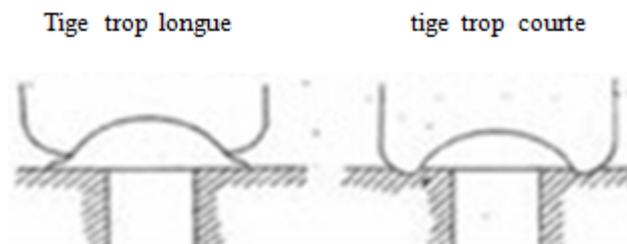


Figure 18 : Défaut de longueur de tige de rivet

-Développement de fissures autour du trou, initiées lors de la réalisation de trou.

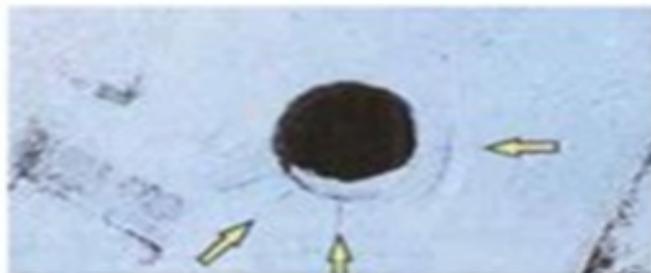


Figure 19 : Fissuration sur trou de rivet

II.15.2 Corrosion

La corrosion des têtes peut prendre plusieurs aspects en fonction du formage de la tête. Le résultat est la dégradation du métal des têtes avec à court ou moyen terme la déconsolidation de l'assemblage [5].



Figure 20 : Corrosion de rivet

II.15.3 Déconsolidation des rivets et assemblages

Le desserrage des rivets et assemblages rivés est un phénomène lent de mise en mouvement des pièces les unes par rapport aux autres. C'est surtout un phénomène qui concerne les ponts ferroviaires de conception ancienne et à pose de voie directe (absence de ballast) [5].

Les déconsolidations sont révélées par:

- La rupture du film de peinture
- Un léger ressuage d'oxyde sur la peinture
- Le mouvement du (des) rivet(s) ou assemblage
- L'ovalisation des trous

La rupture du (des) rivet(s) ou assemblage

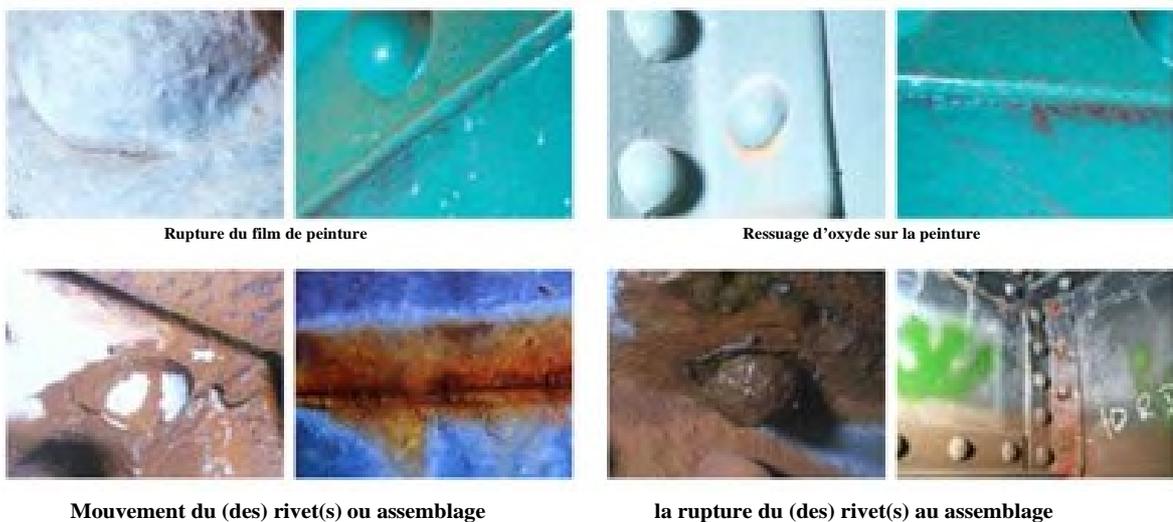


Figure 21 : Dégradation des rivets (à gauche) et assemblage (à droite) par déconsolidation

II.16 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une étude profonde sur les rivets ainsi que toutes les sollicitations qu'un rivet peut subir.

Le troisième chapitre sera consacré à un calcul analytique sur les rivets et numérique en utilisant le logiciel de conception solidworks.

Chapitre III

**Calcul analytique et numérique sur les
rivets**

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons effectuer une étude statique sur deux plaques assemblées par quatre rivets, une "plaque 2" encadrée et une "plaque 1" assemblée à la "plaque 2" et soumise à une force bien définie, pour cela nous procéderons comme suit :

D'abord, nous commençons par une vérification analytique de notre construction.

Ensuite, nous optons pour une étude numérique (simulation) en effectuant une Conception Assistée par Ordinateur (CAO) , afin de pouvoir comparer les deux résultats obtenus.

III.2 Rivures sollicités à la flexion

Le calcul se réduit à la détermination de *la contrainte de cisaillement* et *la contrainte de compression* pour le rivet le plus chargé, L'action d'une charge dissymétrique peut être remplacée par celle d'une force symétrique qui passe par le centre de gravité de tous les rivets (ou centre de cisaillement) et par un moment de flexion.

Soit l'exemple suivant :

sous l'action de moment de flexion

$$M_f = F * L$$

avec :

M_f : moment fléchissant

F : la force appliquée

L : la longueur (distance)

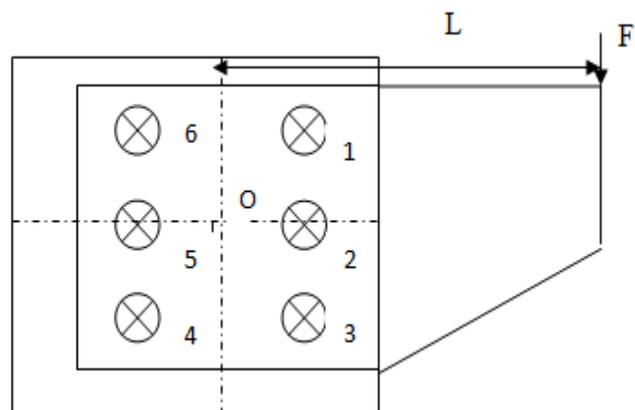


Figure1: les éléments de l'assemblage

Les éléments de l'assemblage tournant par rapport au centre de cisaillement O (O est aussi le centre de gravité de l'assemblage) sont indiqués dans la figure 1.

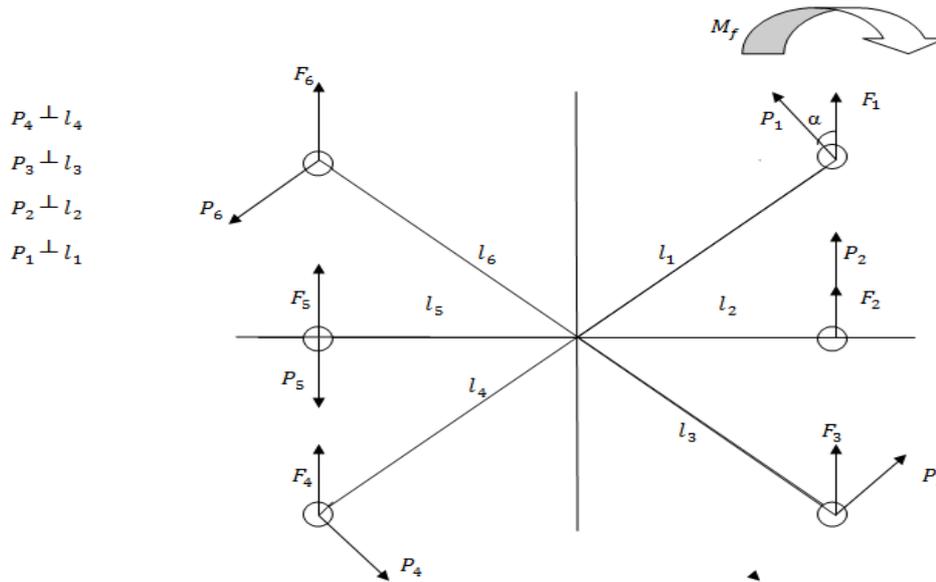


Figure 2: représentation graphique des forces et des réactions

$$M_f = F * L = P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3 + P_4 l_4 + \dots + P_n l_n$$

$l_1, l_2, l_3 \dots l_n$: Les distances des axes des rivets par rapport au centre de cisaillement.

$P_1, P_2, P_3 \dots P_n$: Les forces dues à M_f et s'exerçant sur chaque rivet.

Si $l_1 = l_{max} \implies P_1 = P_{max}$

On peut calculer les efforts s'exerçant sur les rivets en fonction de P_{max} et l_{max} .

On sait que $\frac{P_1}{P_2} = \frac{l_1}{l_2}$; $\frac{P_1}{P_3} = \frac{l_1}{l_3}$; etc ...

$$\frac{P_2}{P_{max}} = \frac{l_2}{l_{max}} ; \frac{P_3}{P_{max}} = \frac{l_3}{l_{max}} ; \dots ; \frac{P_n}{P_{max}} = \frac{l_n}{l_{max}}$$

$$P_1 = P_{max} ; P_2 = P_{max} \frac{l_2}{l_{max}} ; P_3 = P_{max} \frac{l_3}{l_{max}} ; \dots ; P_n = P_{max} \frac{l_n}{l_{max}}$$

$$M_f = P_{max} * l_{max} + P_{max} \frac{l_2^2}{l_{max}} + P_{max} \frac{l_3^2}{l_{max}} + \dots + \frac{l_n^2}{l_{max}}$$

$$M_f = \frac{P_{max}}{l_{max}} \sum_{i=1}^n l_i^2 \rightarrow P_{max} = \frac{M_f l_{max}}{\sum_{i=1}^n l_i^2}$$

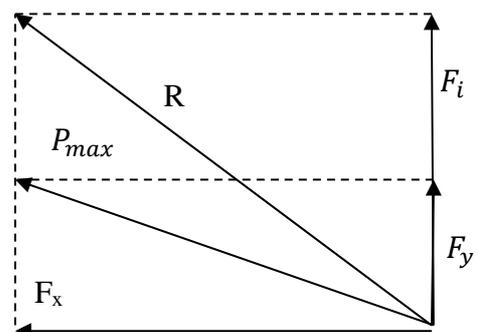
On décompose P_{max} selon x et y en P_x et P_y

$$R = \sqrt{P_{max}^2 + F_i^2 + 2F_i P_{max} \cos \alpha}$$

$$\tau = \frac{4R}{\pi d^2 z} \leq [\tau_{adm}]$$

avec : R : la force résultante

τ_{adm} : la contrainte de cisaillement (N/mm²)



z : le nombre de sections cisailées
 α : l'angle formé par les forces F et P

Condition de résistance de la plaque à la compression :

$$\sigma_{com} = \frac{R}{d \cdot e} \leq [\sigma] \quad (\sigma_{com}: \text{la contrainte de compression de la plaque})$$

avec : d : diamètre de rivet

e : l'épaisseur de la plaque

III.3 Application

III.3.1 Problème posé :

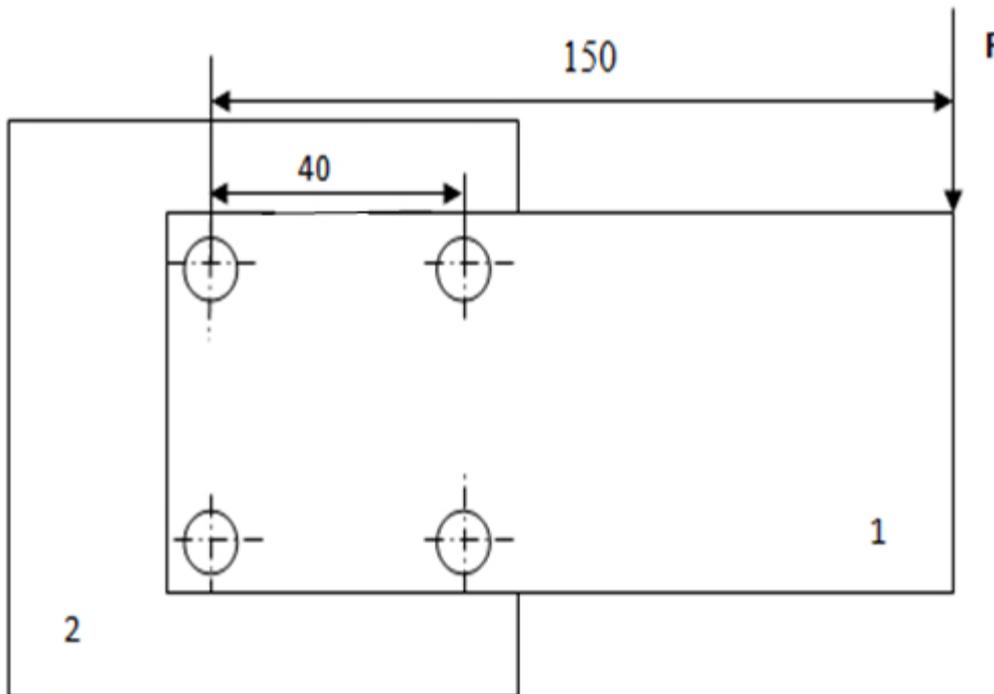


Figure 3: La construction qui fait l'objet de l'étude

La "plaque 1" soumise à une force $F = 4000\text{N}$ et fixée au support 2 (plaque 2) par l'intermédiaire de quatre rivets de diamètre 8 mm (figure 3). Les rivets sont disposés selon un carré.

Pour les quatre rivet la contrainte de cisaillement admissible de la plaque est :

$$[\tau_{adm}] = 2000 \text{ daN/cm}^2$$

III.3.2 Calcul des contraintes

a. Représentation graphique des différentes forces

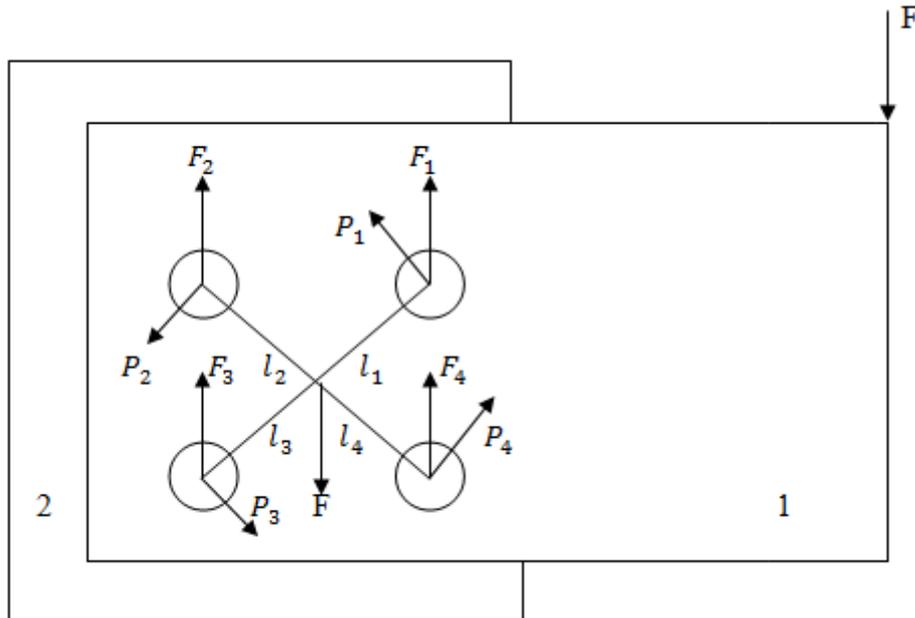


Figure 4 : Représentation des forces et des réactions (cas de l'étude réalisée)

b. calcul de la contrainte de cisaillement

Nous avons :

$$P_1 = P_{max} \text{ et } Fl_1 = P_{max}$$

$$\text{sachant que : } l_1 = l_2 = l_3 = l_4$$

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = \frac{F}{4} = \frac{4000N}{4} = 1000N$$

$$F_1 = 100 \text{ daN}$$

$$(l_1 + l_3)^2 = 40^2 + 40^2 = 3200$$

$$(l_1 + l_3) = \sqrt{3200} = 56.57 \text{ mm}$$

$$l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = \frac{56.57}{2} = 28.285 \text{ mm} = 2.83 \text{ cm}$$

$$M_f = 400(15 - 2) = 5200 \text{ daN} \cdot \text{cm}$$

$$P_{max} = \frac{M_f l_{max}}{\sum_{i=1}^4 l_i^2} = \frac{5200 * 2.83}{4(2.83)^2} = \frac{14716}{32.0356}$$

$$P_{max} = 459.36 \text{ daN} = P_1$$

$$R_{max} = \sqrt{P_{max}^2 + F_i^2 + 2F_i P_{max} \cos \alpha}$$

$$R_{max} = \sqrt{459.36^2 + 100^2 + 2 * 100 * 459.36 \cos 45^\circ}$$

$$R_1 = 534.76 \text{ daN}$$

$$\tau = \frac{R_1}{S_1} \implies \tau = \frac{4R}{\pi d^2} = \frac{4 * 534.76}{3.14 * 0.64} = \frac{2139.06}{2.0096}$$

$$\tau = \mathbf{1064.42 \text{ daN/cm}^2}$$

c. La contrainte de compression dans le trou de la plaque

$$\sigma_{com} = \frac{R}{d * e} \leq [\sigma]$$

$$\text{donc } \sigma_{com} = \mathbf{0}$$

d. Calcul de la contrainte de Von Mises

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau^2)}$$

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0 + 3(1064.42)^2}$$

$$\sigma_{vm} = \mathbf{1843.62 \text{ daN / cm}^2}$$

III.3.3 Épaisseurs des plaques

Pour estimer les épaisseurs des plaques, tout dépend du diamètre de rivet.

$$d = \frac{45e}{15+e}$$

avec:

e : l'épaisseur de la tôle (mm).

d : le diamètre du rivet (mm).

$$e = \frac{15d}{45-d}$$

sachant que : d = 8mm

e = 3.24 sachant que e ≥ 3.24 mm

d'où : e = 4mm.

le diamètre de trou de passage de rivet = 0.1 + d

$$0.1 + 8 = 8.1 \text{ mm}$$

III.4 La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Le logiciel est un modéleur volumique permettant de créer des pièces complexes en 3 dimensions. Ces pièces peuvent être ensuite utilisées pour créer des mises en plan en 2D et des assemblages de plusieurs pièces entre elles.

On peut spécifier des côtes et rapports géométriques entre les éléments. Un changement de cote entraîne un changement de taille de la pièce, tout en préservant l'intention de conception.

La CAO est constitué de pièces, d'assemblages et de mise en plan. Les pièces, les assemblages et les mises en plan affichent le même modèle dans des documents différents. Les changements opérés sur le modèle dans l'un des documents se propagent aux autres documents contenant ce modèle.

III.4.1 Le module pièce

Le module pièce est le premier module élémentaire de simulation, servant à élaborer le modèle numérique.

III.4.2 Le module assemblage

Le module assemblage est le deuxième module élémentaire de simulation, permettant d'effectuer l'assemblage des pièces que l'on a élaboré préalablement dans le module pièce.

III.4.3 Le module mise en plan

Le module Mise en Plan est le troisième module élémentaire de simulation, servant à effectuer la mise en plan d'une pièce ou d'un assemblage, que l'on a élaboré préalablement dans le module Pièce ou le module Assemblage.

III.4.4 Simulation

La simulation est un portefeuille d'outils d'analyse structurelle faciles à utiliser qui font appel à la méthode d'analyse par éléments finis (FEA) pour prédire le comportement physique réel d'un produit en testant virtuellement des modèles de CAO. Le portefeuille propose des fonctionnalités d'analyse dynamique et statique non linéaire et linéaire.

La simulation permet de tester le comportement mécanique des pièces et des assemblages modélisés.

La simulation permet de faire une étude : Statique, Fréquentielle, Flambement, Thermique, Test de chute, Fatigue et Dynamique (Modale, harmonique, spectrale et aléatoire).

III.5 Analyse de l'assemblage

Afin de pouvoir vérifier notre construction, Nous devons déterminer la contrainte de Von Mises pour le rivet le plus chargé.

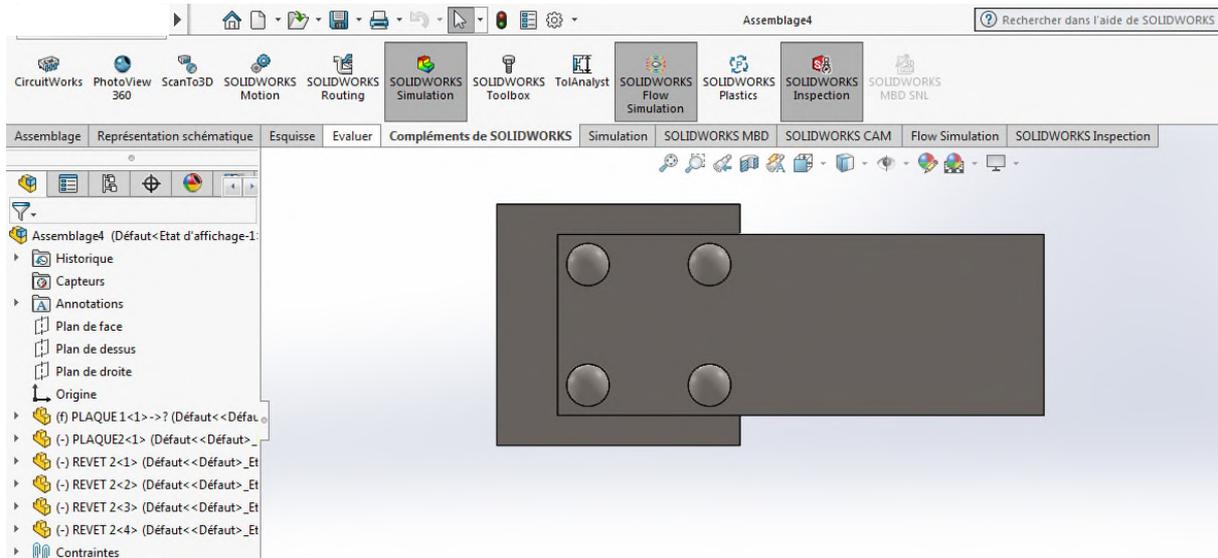


Figure 5 : Présentation du logiciel de simulation.

III.5.1 Application d'un encastrement

Pour appliquer des déplacements imposés, il suffit de faire appel à la fonction "*géométrie fixe*" et c'est dans le but d'empêcher la pièce de bouger lors de l'application de chargement.

Illustration dans la figure suivante :

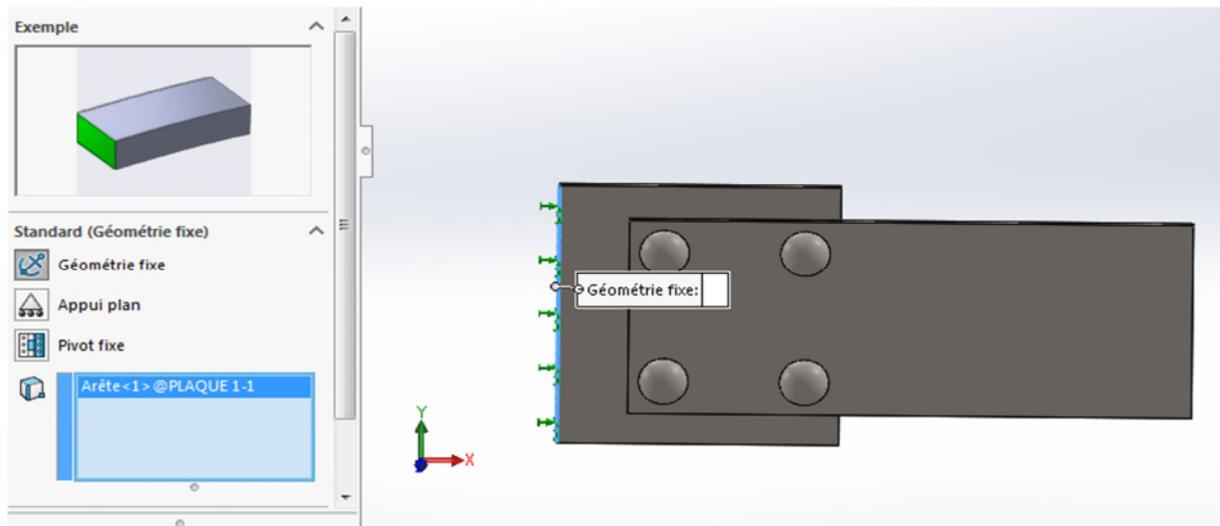


Figure 6 : Application d'un encastrement

III.5.2 Application de chargement

Nous appuyons sur la fonction "Force" pour appliquer un chargement, puis nous attribuons la valeur 4000N à la force.

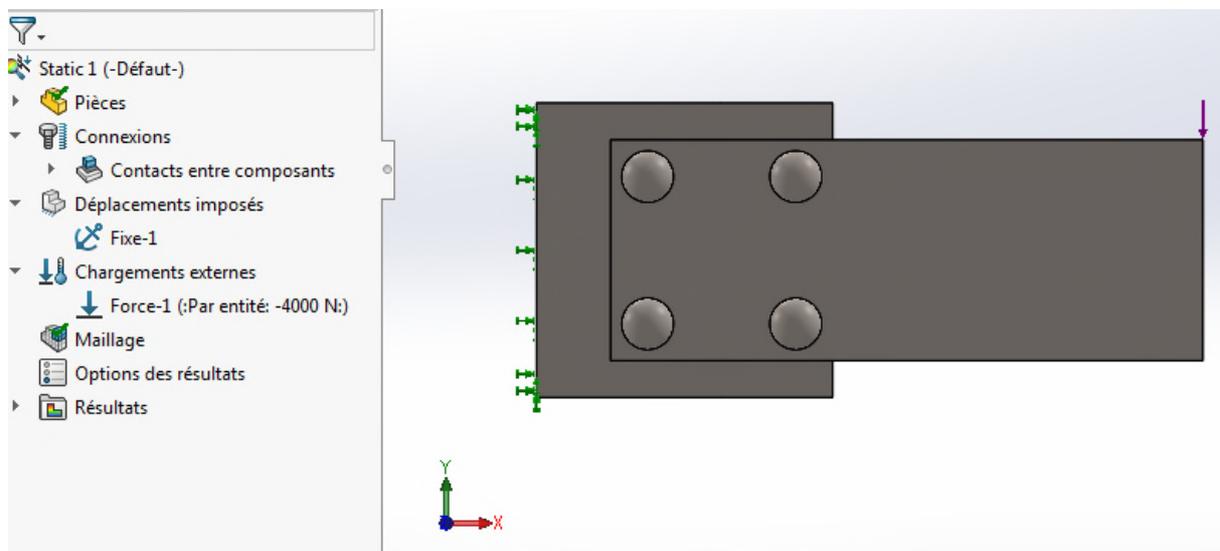


Figure 7 : Application de chargement

III.5.3 Choix du matériau

La fonction "Appliquer un matériau" nous a permis de sélectionner "acier allié" Voir la fenêtre suivante :

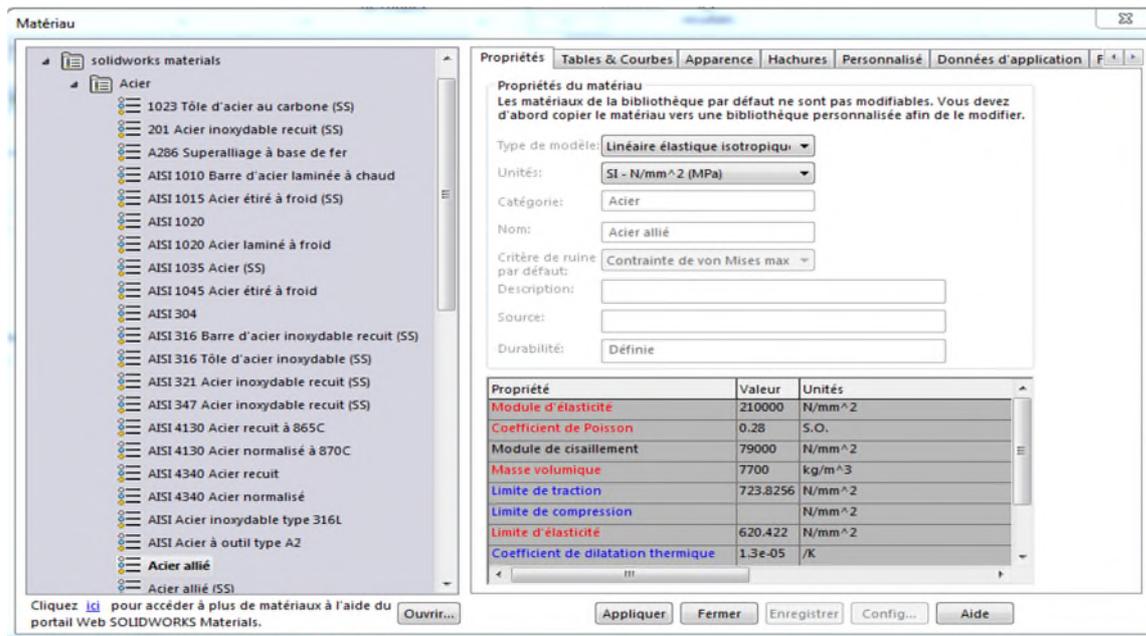


Figure 8: Fenêtre des matériaux.

III.5.4 Création d'un maillage

Il suffit d'appuyer sur la fonction "créer le maillage".

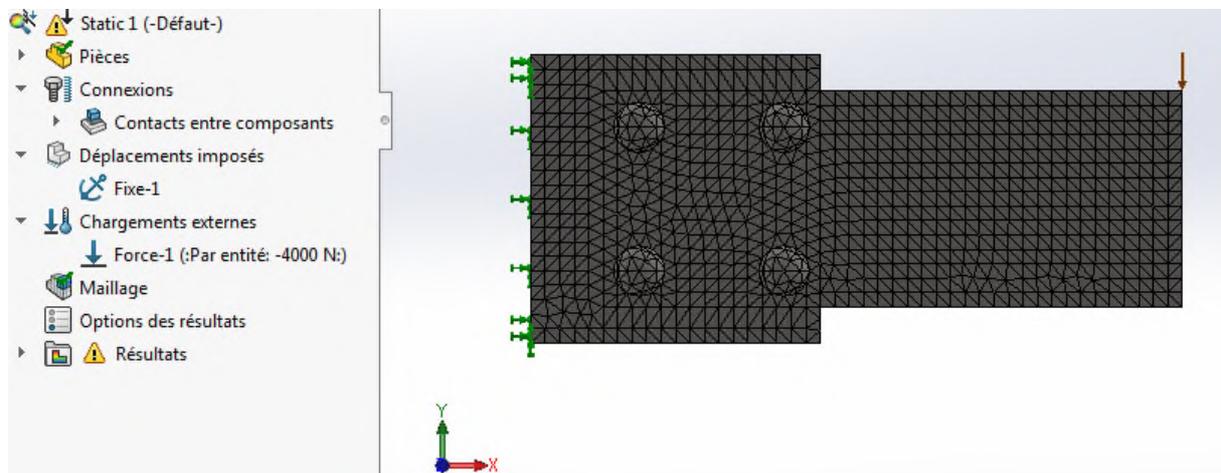


Figure 9 : Le maillage

III.5.5 Résultats de l'étude

Pour obtenir la répartition des contraintes sur l'ensemble de l'assemblage, nous devons procéder à l'exécution en faisant appel à la fonction "exécuter cette étude".

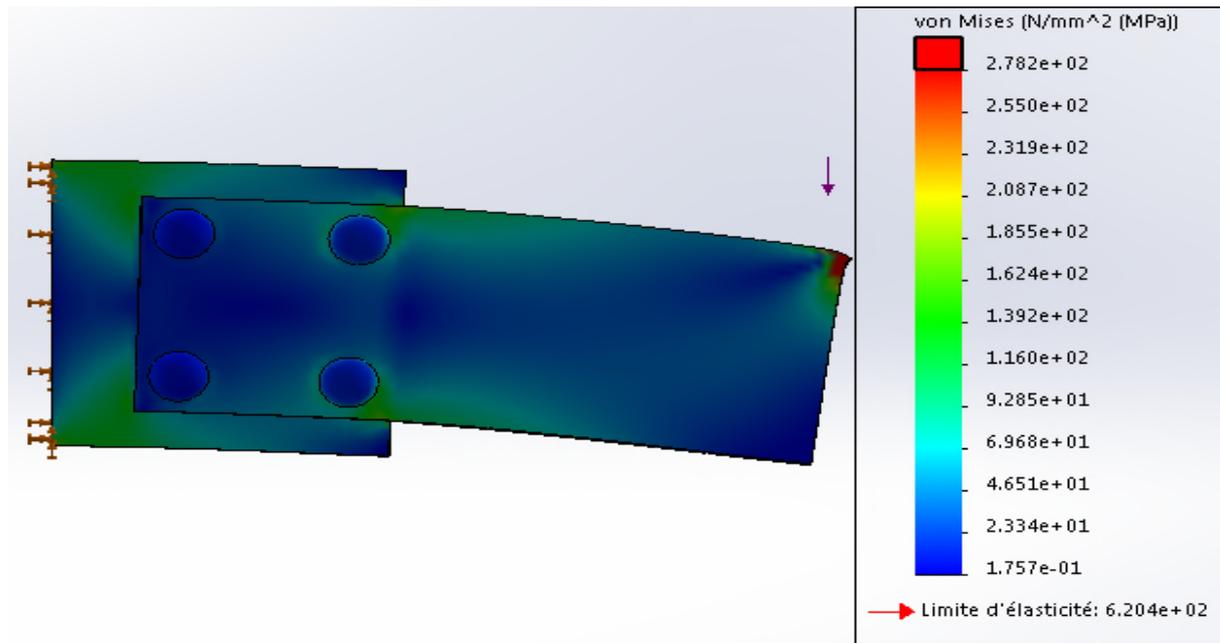


Figure10 :Résultats de l'exécution de l'étude. La contrainte de Von Mises

III.6 Discussion des résultats de la simulation

La figure 10 présente la distribution de la contrainte de Von Mises. On remarque qu'il y a une distribution sur les deux plaques et sur les rivets. La contrainte atteinte la valeur maximale 278.2 MPa dans le point d'application de la force sur la plaque 1, ça s'explique qu'il y a une grande résistance des rivets. Une autre distribution importante tout autour les rivets 1 et 4 par contre la contrainte sur les rivets 2 et 3 est presque négligeable. Sur la plaque 2 il y a une distribution de contrainte très importante elle atteinte 139.2 MPa de l'encastrement vers les rivets 2 et 3. On remarque aussi que la contrainte maximale de Von Mises est \ll à la limite élastique, on peut dire que le montage est très robuste même en appliquant une force plus grande. Par contre on peut minimiser le nombre des rivets et on modifier la forme aussi.

La distribution de la contrainte de Von Mises sur les rivets est comme suit :

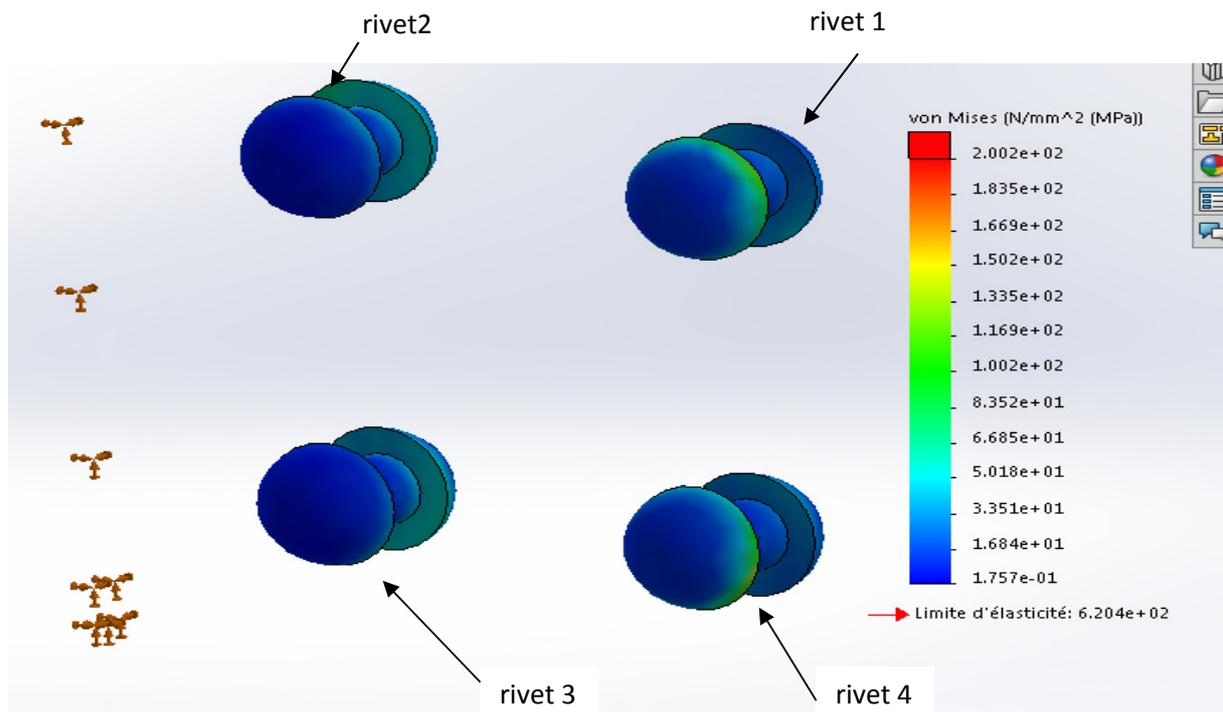


Figure 11 : les zones de concentration de contraintes sur les rivets.

D'après la figure 11, nous avons conclu que la contrainte maximale de *Von Mises* sur les quatre rivets est 150.2 (N/mm²).

Afin de distinguer le rivet le plus sollicité, nous avons tracer ce tableau :

Rivet	Contrainte en N/mm ²
rivet 1	150.2
rivet 2	50.1
rivet 3	50.1
rivet 4	150.2

En lisant les résultats sur le tableau et en observant la figure 11, nous déduisons tout de suite que les rivets les plus sollicités sont le rivet 1 et le rivet 4, les rivets les plus prêts de la force.

III .7 Conclusion

Dans ce chapitre on a calculé la contrainte de Von Mises analytiquement et on compare cette contrainte avec la contrainte trouvée à partir de la simulation effectuée sur la simulation, on peut dire qu'il n'y a pas de grande différence parce que la contrainte de compression est très petite comparant avec la contrainte de cisaillement.

Conclusion générale

Notre travail intitulé, assemblage de deux plaques avec des rivets sollicité à la flexion, dans le domaine de construction mécanique, nous a permis de mettre en pratique nos connaissances acquises lors de notre formation.

Après avoir effectué une Conception Assistée par Ordinateur, la simulation nous a permis de faire une comparaison avec les résultats obtenus analytiquement.

Nous avons comparé entre la contrainte de Von Mises calculer analytiquement et celle obtenue numériquement, on a trouvé que la dernière est un petit peu importante que l'analytique, alors il faut refaire la simulation en utilisant un notre type de maillage ou bien de le raffiné.

le calcul de la contrainte de Von Mises nous a indiqué le rivet le plus sollicité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] AMEUR Toufik, « cours construction mécanique 1 », 2016-2017 universités KASDI Merbah OURGLA.
- [2] LABED Adnane, « Support de cours, Technologie de base », Université de MOUHAME Khider de Biskra
- [3] SLIMANE Abdelkader, « construction et calcul des éléments de machines », 2018-2019 université de sciences et de la technologie, Oran MOUHAMED Boudiaf. Ch1 et 2.
- [4] BELOUFA Amine, « cours éléments de machine destine aux étudiants e master2 », centre universitaire Ain Temouchen Institue des sciènes et de la technologie.
- [5] Jean-Paul Persy « Métal, réparation et rénovation des structures métalliques » FAME-version 2, novembre 2014, syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux réparation et renforcements de structures.
- [6] J.L. Fanchon, Guide des sciences et technologies industrielles, Ed Nathan, Paris, 2006.
- [7] M. Aublin et all, Construction mécanique, Ed Hachette, Paris, 2005.
- [8]- A. Ricordeau, Dossier de technologie de construction, Ed Casteilla, Paris, 1993.
- [9] V. Dobrovolski et all, Eléments de machines, Ed Mir, Moscow, 1974.
- [10] J.F.Debongnie, « conception et calcul des éléments de machines », Belgium, 2013