

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان  
Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -  
Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Génie mécanique

**Spécialité** : Assemblages soudés et matériaux

**Par** : Mehdi Ahmed

### **Sujet**

**Etude du comportement mécanique de la soudure à l'étain**

Soutenu publiquement, le 28/09/2022, devant le jury composé de :

Mr BENSALD Ismail	MCA	Université de Tlemcen	Président
Mr GUEZZEN Samir	MCB	Université de Tlemcen	Examineur
Mr MANGOUCI Ahmed	MAA	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire :2021 /2022.

# Dédicace

Je dédie ce mémoire à : Mes chers parents qui par leur amour, leur précieux conseil, leur compréhension et leur soutien m'ont guidé vers la voie de la réussite. Ma petite famille et grande famille.

# Remerciements

Je tiens à remercier les membres de jury de mon mémoire notamment Monsieur **BENSAID Ismaïl** le président du jury et Monsieur **QUEZZEN Samir** d'avoir accepté d'examiner mon travail. Je remercie mon encadreur Monsieur **MANGOUCHI Ahmed** pour l'effort déployé et le temps alloué afin que je mène à bien mon mémoire de master et acquérir son expérience dans la conduite d'un projet de recherche expérimental. Je remercie encore toutes les personnes qui ont contribué à ma formation de master.

## Résumé

L'objet de ce mémoire consiste à étudier le comportement mécanique de la construction soudée par brasage à l'étain à l'aide des fers à souder, sachant que cette soudure est amplement utilisée dans le domaine industriel. Il s'agit de rechercher la résistance à la rupture de traction des éprouvettes brasées à l'étain afin de prononcer sur l'état et la qualité de cette soudure.

Trois matériaux ont été utilisées dans les assemblages des éprouvettes puis passées aux essais de traction.

Une partie sur la simulation des pièces avec SolidWorks est faite pour comparer les résultats trouvés.

**Mots-clés** : Brasage à l'étain, Fer à souder, Comportement mécanique, Traction,

## **Abstract**

The purpose of this thesis is to study the mechanical behavior of the state of a construction welded by tin soldering using soldering irons, knowing that this solder is widely used in the industrial field. This involves researching the tensile strength of the tin-brazed specimens in order to decide on the condition and quality of this solder.

Three materials were used in the assemblies of the specimens and then passed to the tensile tests.

A part on the simulation of parts with SolidWorks is made for a comparison of the results found.

**Keywords:** Tin soldering, Soldering iron, Mechanical behavior, Traction,

## ملخص

الغرض من هذه الأطروحة هو دراسة السلوك الميكانيكي لحالة البناء الملحوم بواسطة لحام القصدير باستخدام مكاوي اللحام ، مع العلم أن هذا اللحام يستخدم على نطاق واسع في المجال الصناعي. يتضمن هذا البحث في قوة الشد للعينات المصنوعة من النحاس الأصفر من أجل تحديد حالة وجود هذا اللحام. تم استخدام ثلاث مواد في تجميعات العينات ثم تم تمريرها إلى اختبارات الشد. تم إجراء جزء من محاكاة الأجزاء باستخدام SolidWorks للمقارنة بين النتائج التي تم العثور عليها.

**الكلمات الرئيسية:** لحام القصدير ، لحام الحديد ، السلوك الميكانيكي ، الجر.

# Sommaires

Dédicace .....	I
Remerciement .....	II
Résumé .....	III
Abstract .....	IV
ملخص .....	V
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux .....	VII
Sommaire .....	VIII
Introduction .....	1
Chapitre 1 .....	
1.Soudage .....	3
1.1 Généralités .....	3
1.2 Histoire de Soudage .....	3
1.3 Définition de soudage .....	4
1.4 Procédés de soudage .....	5
1.5 Principaux procédés .....	7
1.6 Soudage électronique .....	8
1.6.1 Fer à souder.....	8
1.6.2 Panne .....	9
1.6.3 Fil à souder.....	9
1.6.4 Etapes pour une bonne soudure .....	10
1.7 Conclusion .....	11
Chapitre 2 .....	
2.1 Introduction .....	13
2.2 Historique sur l'étain.....	13
2.3 Métallurgie .....	13
2.4 Microstructure de l'étain pur.....	14
2.5 Fer à souder.....	14
2.5.1 Température .....	14
2.5.2 Alimentation .....	14
2.5.3 Nombre de pointes de soudures .....	15

2.5.4 Fer à souder : les avantages et les inconvénients.....	15
2.5.5 Comment refaire une soudure à l'étain .....	15
2.6 Comportement mécanique des matériaux .....	16
2.6.1 Introduction.....	16
2.6.2 Sollicitations mécaniques des solides .....	16
2.6.3 Déformation élastique.....	16
2.6.4 Rupture. ....	17
3. Essai de traction d'un matériau .....	17
3.1 Essai de traction .....	17
3.2 Résultats de l'essai de traction .....	18
4. Conclusion .....	19
<b>Chapitre 3 .....</b>	<b>.....</b>
<b>3.1 Introduction .....</b>	<b>21</b>
3.2 Préparation des éprouvettes .....	21
3.3 Brasure cuivre-cuivre à l'aide du fer à souder de 40, 60 et 100watts .....	22
3.3.1 Brasure cuivre-cuivre bout à bout.....	22
3.3.2 Brasure cuivre-cuivre par recouvrement.....	22
3.4 Brasure acier-acier à l'aide du fer à souder de 40, 60 et 100watts .....	23
3.4.1 Brasure acier-acier bout à bout .....	23
3.4.2 Brasure acier-acier par recouvrement .....	23
3.5 Brasure tôle cannette-tôle cannette à l'aide du fer à souder de 40, 60 et 100watts .....	24
3.5.1 Brasure tôle cannette-tôle cannette bout à bout .....	24
3.5.2 Brasure tôle cannette-tôle cannette par recouvrement .....	24
3.6 Essai de traction des éprouvettes en cuivre brasées .....	25
3.6.1 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en cuivre bout à bout .....	26
3.6.2 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en cuivre par recouvrement.....	26
3.7 Essai de traction des éprouvettes en acier brasées .....	27
3.7.1 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en acier bout à bout .....	27
3.7.2 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en acier par recouvrement .....	27
3.8 Essai de traction des éprouvettes brasées en tôle de cannette.....	28
3.8.1 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en tôle de cannette bout à bout.....	28
3.8.2 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en tôle de cannette .....	29
3.9 Interprétation des résultats .....	29

3.10 Conclusion.....	29
Chapitre 4 .....	
4.1 Introduction .....	31
4.2 Simulation numérique .....	31
4.3 Méthodes numériques connues .....	31
4.3.1 Méthode des éléments finis .....	31
4.4 Simulation de brasage cuivre-cuivre .....	32
4.4.1 Condition aux limites et condition initiale .....	32
4.4.2 Propriétés géométriques et physiques des matériaux .....	33
4.4.3 Maillage .....	33
4.4.4 Résultats et interprétations .....	34
4.4.5 Interprétation du brasage cuivre .....	34
4.4.6 Contrainte Von mises en fonction de déplacement .....	35
4.4.7 Contrainte Von mises en fonction de temps .....	35
4.5 Simulation de brasage acier .....	36
4.5.1 Condition aux limites et condition initiale .....	36
4.5.2 Propriétés géométriques et physiques des matériaux .....	37
4.5.3 Maillage .....	37
4.5.4 Résultats et interprétations .....	38
4.5.5 Interprétation du brasage acier .....	38
4.5.6 Contrainte Von mises en fonction du déplacement .....	39
4.5.7 Contrainte Von mises en fonction du temps .....	39
4.6 Simulation de brasage de la tôle cannette .....	40
4.6.1 Condition aux limites et condition initiale .....	40
4.6.2 Propriétés géométriques et physiques des matériaux .....	41
4.6.3 Maillage .....	41
4.6.4 Résultats et interprétations .....	42
4.6.5 Interprétation du brasage de la tôle cannette .....	42
4.6.6 Contrainte Von mises en fonction du déplacement .....	43
4.6.7 Contrainte Von mises en fonction de temps .....	43
5. Conclusion .....	43
Conclusion générale .....	45
Références Bibliographiques .....	46

## Liste des figures

Figure 1.1 : Soudage sans pression	4
Figure 1.2 : Soudage avec pression	5
Figure 1.3 : Procédés de soudage	6
Figure 1.4 : boîte de fer à souder	8
Figure 1.5 panne	9
Figure 2.1 : Description des formes allotropiques de l'étain	14
Figure 2.2 : fer à souder	14
Figure 2.3 essai de traction	18
Figure 3.1 : éprouvettes	21
Figure 3.2 : modèles de fer à souder	22
Figure 3.3 : éprouvettes cuivre-cuivre bout à bout	22
Figure 3.4 : éprouvettes cuivre-cuivre par recouvrement	22
Figure 3.5 : éprouvettes acier-acier bout à bout	23
Figure 3.6 : éprouvettes acier-acier par recouvrement	23
Figure 3.7 : éprouvette tôle cannette bout à bout	24
Figure 3.8 : éprouvettes tôle cannette par recouvrement	24
Figure 3.9 : machine de traction	25
Figure 3.10 valeurs des charges de brasure cuivre bout à bout	26
Figure 3.11 valeurs des charges de brasure cuivre par recouvrement	26
Figure 3.12 valeurs des charges de brasure acier bout à bout	27
Figure 3.13 : valeurs des charges de brasure acier par recouvrement	28
Figure 3.14 valeurs des charges de brasure tôle cannette bout à bout	28
Figure 3.15 valeurs des charges de brasure tôle cannette par recouvrement	29
Figure 4.1 : éprouvette cuivre-cuivre.	32
Figure 4.2 : maillage.	33
Figure 4.3 : résultats de simulation de cuivre.	34
Figure 4.4 : diagramme des contraintes en fonction de l'allongement	35
Figure 4.5 : diagramme des contraintes en fonction de temps.	35
Figure 4.6 : éprouvette acier.	36
Figure 4.7 : maillage.	37
Figure 4.8 : résultats de simulation d'acier.	38
Figure 4.9 : diagramme des contraintes en fonction de l'allongement.	39

Figure 4.10 : diagramme des contraintes en fonction du temps.	39
Figure 4.11 : éprouvette tôle cannette.	40
Figure 4.12 : maillage.	41
Figure 4.13 : résultats de simulation de tôle cannette.	42
Figure 4.14 : diagramme des contraintes en fonction de l'allongement	43
Figure 4.15 : diagramme des contraintes en fonction de temps	43

## Liste des tableaux

Tableau 1.1 : procédés de soudage	7
Tableau3.1 : dimensions des éprouvettes	21
Tableau 3.2 : valeurs des forces de rupture maximales	26
Tableau 3.3 : valeurs des forces de rupture maximales du cuivre bout à bout	26
Tableau3.4 : valeurs des forces de rupture maximales du cuivre par recouvrement	27
Tableau3.5 : valeurs des forces de rupture maximales de l'acier par recouvrement	27
Tableau3.6 : valeurs des forces de rupture maximales tôle cannette bout à bout.	28
Tableau 3.7 : valeurs des forces de rupture maximales de la tôle cannette	29
Tableaux 4.1 : condition initiale	32
Tableaux 4.2 : propriétés du cuivre.	33
Tableau 4.3 : résultats de simulation du cuivre	34
Tableaux 4.4 : condition initiale	36
Tableaux 4.5 : propriétés de l'acier.	37
Tableaux 4.6 : résultats de simulation d'acier	38
Tableaux 4.7 : condition initiale	40
Tableaux 4.8 : propriétés de la tôle cannette	41
Tableaux 4.9 : résultats de simulation de la tôle cannette	42

## *Introduction générale*

# Introduction générale

La soudure à l'étain par fer à souder permet de relier plusieurs éléments. Ce petit travail de précision réclame toute votre attention pour limiter les risques de brûlures. Le **fer à souder** est un outil qui permet de réaliser des soudures ; il s'appelle *fer* puisque son élément principal est la pièce métallique qui confère une température suffisante à des pièces destinées à être assemblées par une brasure.

Dans ce travail on a assemblé 3 différents métaux : cuivre/cuivre, acier/acier et tôle cannette / tôle cannette en utilisant trois fers à souder de puissance différente : 40W, 60W et 100W. le métal d'apport est l'étain. Les pièces à braser sont mises dans deux positions bout à bout et par recouvrement. Le but de ce modeste mémoire est d'étudier le comportement mécanique des différentes brasures des pièces à savoir la détermination de la résistance de rupture de traction seulement. Les autres caractéristiques mécaniques comme l'allongement, on n'a pas pu le déterminer à cause de la machine de traction introuvable donnant de très petites charges, pour cela, on a opté pour la fabrication traditionnelle et personnelle d'une machine de traction.

Pour la validation des résultats, on a fait quelques simulations avec le logiciel SolidWorks 2016.

L'étude illustrée dans ce mémoire est composée de quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous allons aborder des généralités sur le soudage et les procédés des soudages les plus utilisés récemment dans le domaine industriel et le soudage électronique
- Le deuxième chapitre, présente les généralités sur la brasure à l'étain et le comportement mécanique.
- Le troisième chapitre décrit la partie expérimentale qui comporte les essais de traction des éprouvettes et modélisation numérique.
- Le quatrième chapitre représente la simulation par SolidWorks

Nous avons clôturé par une conclusion générale.

***Chapitre 1 : Généralités sur le  
Soudage***

## 1. Soudage

### 1.1 Généralités

Le soudage est une technique d'assemblage permanent qui établit une continuité de nature entre les pièces soudées. Le terme soudure est utilisé pour désigner l'alliage reliant les pièces à assembler formé par la fusion des bords à assembler, avec ou sans adjonction d'un produit d'apport. La soudure peut donc être le résultat du seul mélange des matériaux de base (les matériaux à souder) ou du mélange des matériaux de base et d'un produit d'apport. En ce qui concerne les métaux, beaucoup sont soudables moyennant les études préalables requises pour la mise au point du mode opératoire ; citons les aciers (dits soudables), le cuivre, l'aluminium, le nickel et leurs alliages.

Lors du soudage, il y'a fusion locale des éléments à assembler, contrairement à ce qui se passe dans le cas du brasage où il n'y a jamais fusion des matériaux à assembler.

En ce qui concerne les métaux on distingue trois types de soudures :

- La soudure homogène, dans laquelle les métaux de base et le métal d'apport éventuel sont tous de même nature,
- La soudure hétérogène de type « A » qui associe des métaux de base de même nature avec un métal d'apport d'une autre nature.
- La soudure hétérogène de type « B » où les métaux de base et le métal d'apport sont tous trois de natures différentes [1].

### 1.2 Histoire de Soudage

L'origine du soudage remonte à l'âge des métaux :

- à l'âge de bronze on soudait à la poche
- à l'âge de fer on soudait à la forge

L'exemple le plus ancien consiste en des petites boîtes circulaires en or datant de l'âge du bronze et assemblées par chauffage et martelage d'un joint constitué de deux surfaces se recouvrant. Il a été estimé que ces boîtes ont été fabriquées il y a plus de 2000 ans. Pendant l'âge du bronze, Les Égyptiens et les peuples de l'est méditerranéen ont appris à assembler par soudage des pièces en fer. Plusieurs outils datant approximativement de 3000 ans ont été retrouvés.

Pendant le Moyen Âge, l'art des chaudronniers et forgerons s'est développé et plusieurs objets en fer ont été produits en utilisant la technique du martelage / soudage. Jusqu'au

milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, les procédés de soudage évoluent peu, c'est vers 1850 qu'on commence à se servir du gaz pour chauffer les métaux à souder.

- Fin XIX<sup>e</sup> siècle : mise en œuvre de nouveaux procédés :
- le soudage oxyacétylénique
- Le soudage aluminothermique
- Le soudage à l'arc électrique
- Le soudage par résistance

Tous ces procédés connaîtront leur essor industriel vers 1920

### 1.3 Définition de soudage

La soudure est un assemblage permanent de 2 pièces métalliques, caractérisée par l'effacement des contours primitifs des bords à assembler. La soudure peut s'effectuer :

- Sans pression extérieure voir figure 1.1, les bords étant portés à la température de fusion, et nécessitant le plus souvent l'introduction dans le joint d'un complément de métal (métal d'apport) déposé en une ou plusieurs pièces.

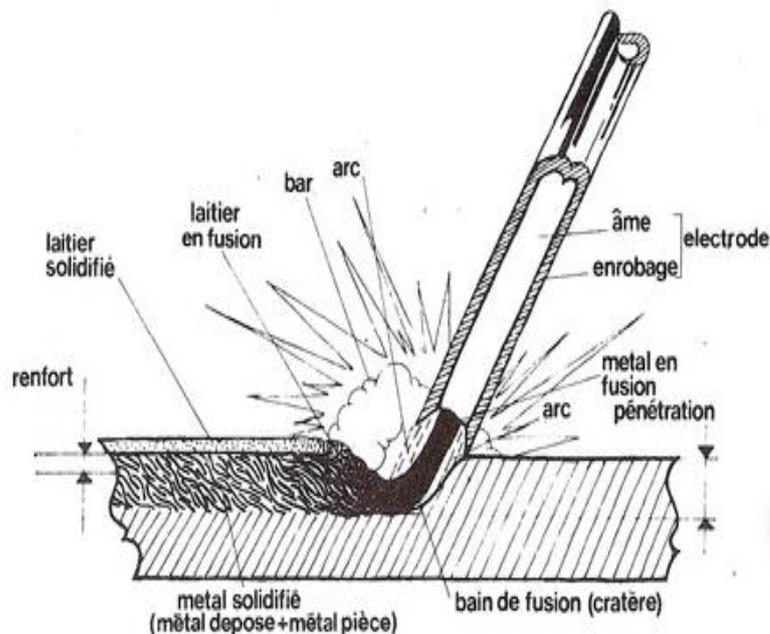
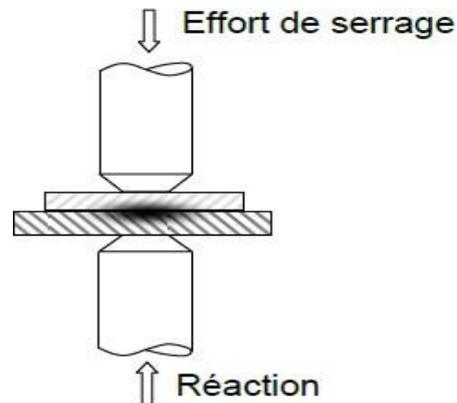


Figure 1.1 : Soudage sans pression

Avec pression extérieure voir figure1.2 une température qui peut atteindre également la fusion



**Figure 1.2 :** Soudage avec pression

Le métal de base forme les parties à assembler de même nature ou de nature différentes. Le métal d'apport, identique ou différent du métal de base, peut intervenir dans l'élaboration du joint. Le métal du joint comprenant le métal déposé et les fondus qui sont dilués ; certain élément peut diffuser dans les parties. Une zone plus ou moins étendue et adjacente de plus au-delà du joint peut être thermiquement affectée et subir des modifications de structure [2]

#### **1.4 Procédés de soudage**

Il y a plusieurs moyens pour obtenir la continuité métallique. Dans la majorité des cas, elle est obtenue par fusion locale. Elle peut aussi être obtenue par diffusion, déformation, ... Les procédés de soudage sont nombreux illustrés par la figure1.3 et peuvent être classés suivant la façon de transférer l'énergie [3].

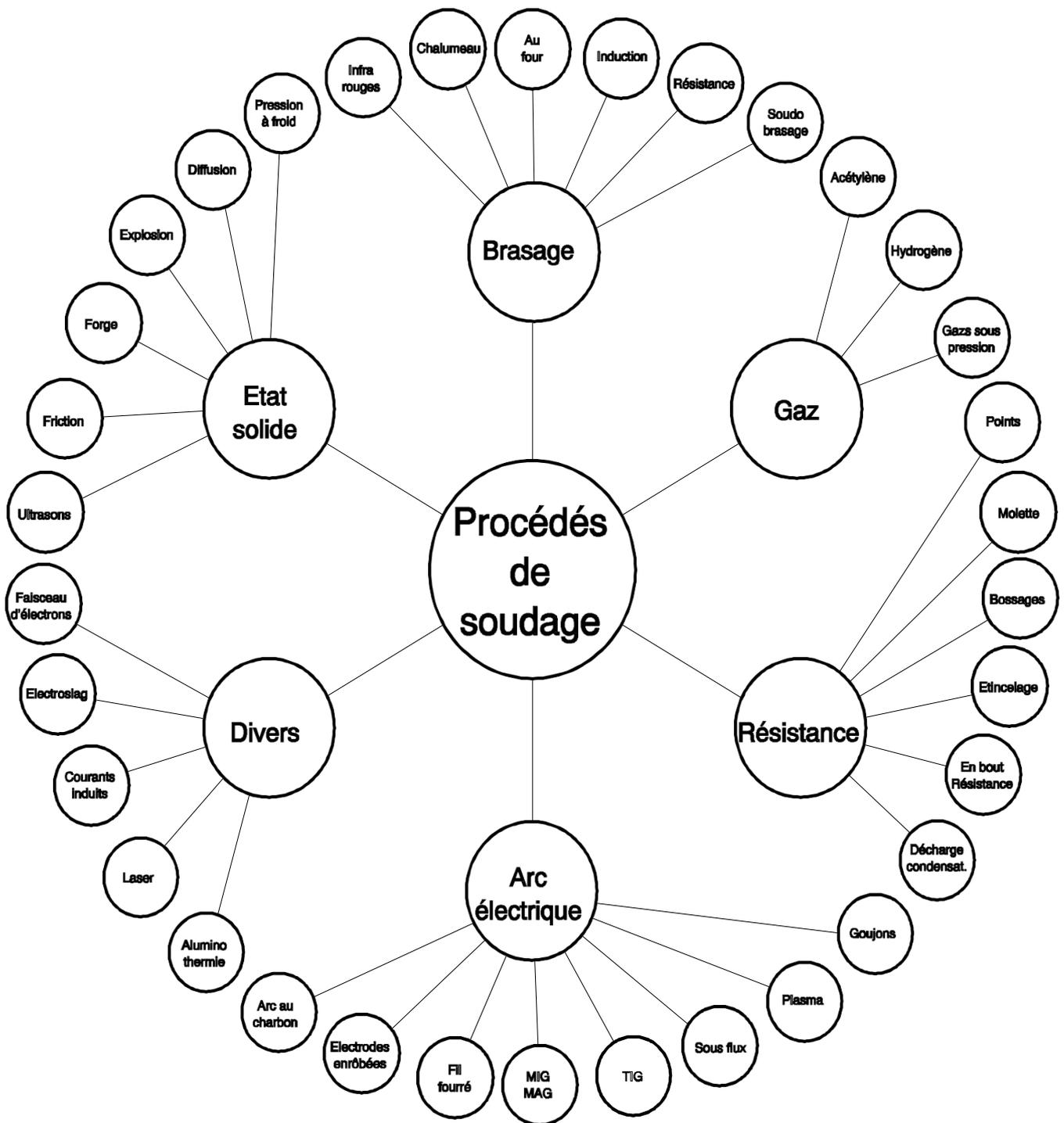


Figure 1.3 : Procédés de soudage [4].

### 1.5 Principaux procédés

Les procédés sont normalisés avec la norme 4063 donné par le tableau 1.1

**Tableau 1.1** : Procédés de soudage [4].

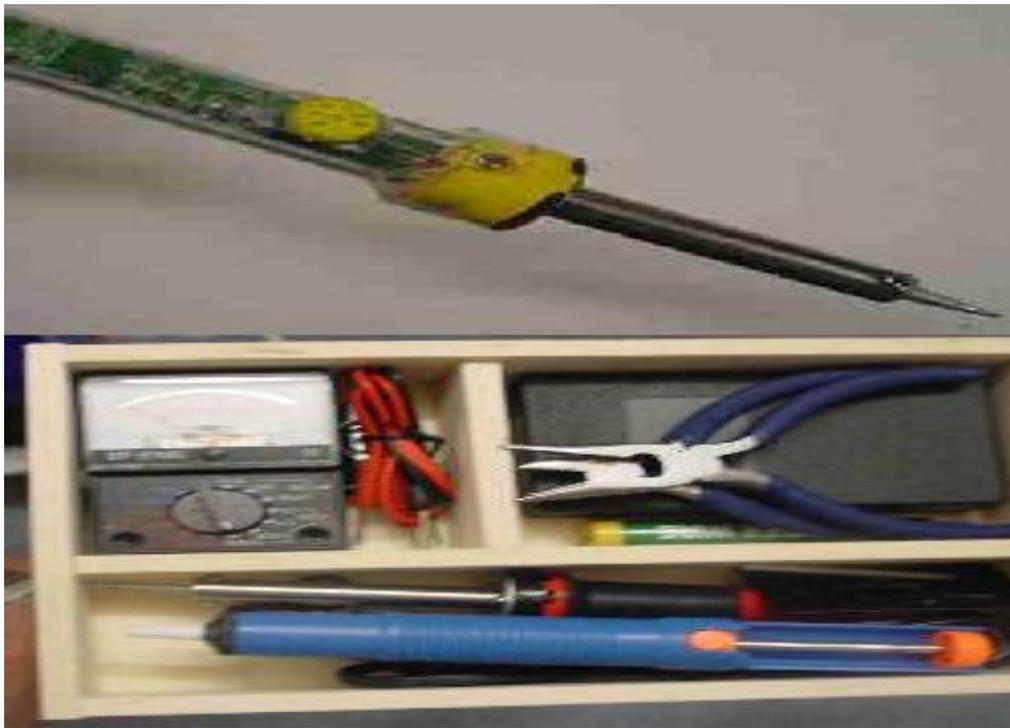
Procédé	ISO4063	AWS A3-0
Soudage Oxyacétylénique	311	OXW
Soudage à l'arc à l'électrode enrobée	111	SMAW
Soudage à l'arc submergé	114	SAW
Soudage sous protection gazeuse actif à électrode fusible (MAG)	135	GMAW
Soudage sous protection gazeuse inerte à électrode fusible (MIG)	131	GMAW
Soudage fil fourré sans gaz	114	FCAW
Soudage sous protection gazeuse à électrode réfractaire (TIG)	141	GTAW
Soudage plasma	15	PAW
Soudage par résistance par point	21	RSW
Soudage par friction-malaxage	42	FSW
Soudage par faisceau d'électrodes	76	EBW

## 1.6 Soudage électronique

Pour souder, il faut amener les parties à souder à la bonne température et approcher la soudure, qui doit immédiatement se répartir en mouillant les surfaces. Faire des soudures propres et fiables nécessite un coup de main facile à acquérir. [5]

### 1.6.1 Fer à souder

La gamme des fers à souder est très large illustrée par la figure 1.4. La puissance en Watt est un paramètre lié à la finesse de la panne. Pour des composants électroniques, 15 à 40 watt sont recommandés, avec une panne de 0.5 mm en extrémité.



**Figure 1.4** : boîte de fer à souder [5]

Le réglage en température permet d'avoir un fer qui chauffe plus vite, et se stabilise à la température voulue, autour de 350 degrés.

Un fer à souder ne suffit pas, il faut au moins un support pour éviter des accidents, de la soudure fine, une éponge mouillée pour nettoyer le bout de la panne régulièrement. Une patte à laver en mousse est utilisable, De plus, une pompe à dessouder et une pince coupante fine. [5]

### 1.6.2 Panne

La panne doit rester brillante, on la frotte régulièrement sur une éponge mouillée pour enlever l'excès de soudure et la nettoyer voir la figure 1.5. Toujours reposer le fer sur son socle.

Si le fer a été oublié sous tension, que sa température était réglée trop haut et qu'il est devenu noir, il ne faut plus espérer faire de bonnes soudures ! Récupérer au mieux en grattant la surface du fer froid avec une lame de rasoir. Ne surtout pas utiliser une lime ou du papier de verre, qui va entamer la couche protectrice en surface.

Ensuite, quand le fer chauffe, mettre de la soudure dès que c'est assez chaud, frotter sur l'éponge.

Seule une panne bien brillante en extrémité apporte la chaleur nécessaire pour permettre de faire des soudures rapides et bonnes.



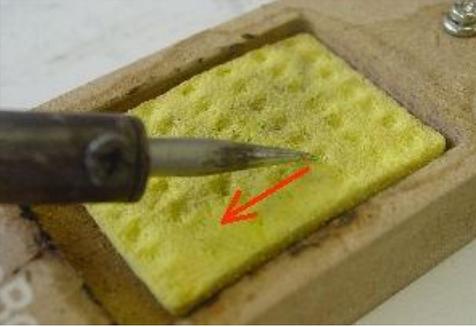
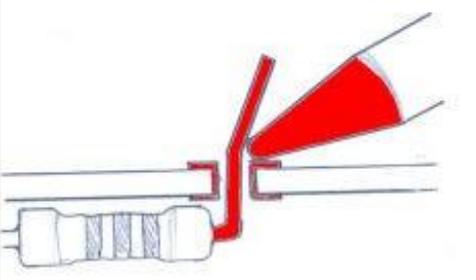
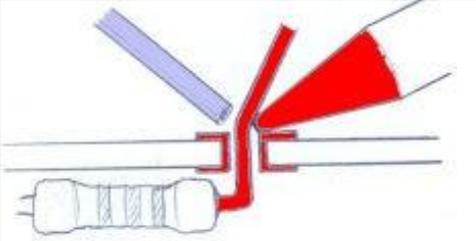
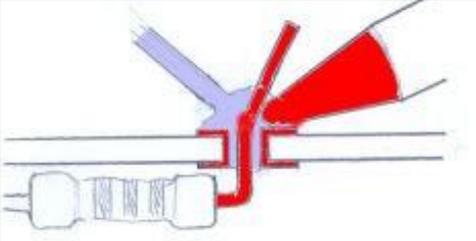
Figure 1.5 panne [5].

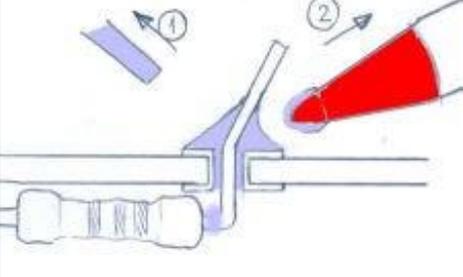
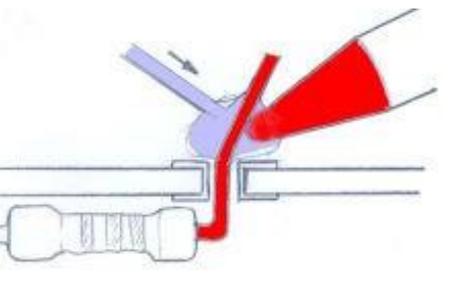
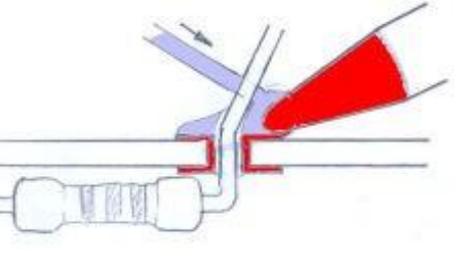
### 1.6.3 Fil à souder

Le fil à souder (brasure) a de préférence un diamètre de 0.5-0.8mm. C'est en fait un tube qui contient une pâte qui facilite considérablement la soudure. Si une soudure ne prend pas, inutile de chauffer plus, ajoutez de la soudure fraîche, et enlevez l'excédent. De la pâte à

souder (flux en anglais) aide bien, mais cela fait une dépense de plus, pas nécessaire si on a du bon fil à souder.

### 1.6.4 Les étapes pour une bonne soudure

<p>a) La première opération est de faire en sorte que le circuit reste en place quand on approche le fer. Une pincette collée sur une planchette est un accessoire qui rend souvent service.</p>	
<p>b) le fer est chaud prêt à servir. Mettons une petite goutte de soudure sur l'extrémité, elle fond immédiatement. Nettoyons sur l'éponge en tirant le fer vers soi pour que la soudure reste sur l'éponge.</p>	
<p>c) Première étape. Mettre la pointe du fer dans l'angle entre le fil du composant et la pastille du circuit imprimé. Garder le fer stable dans cette position. Si le contact est bon, en moins d'une seconde la température est atteinte.</p>	
<p>d) Approcher la soudure dans l'angle chaud, si la soudure touche le fer, cela doit être à sa pointe ou elle touche le fil.</p>	
<p>e) On doit voir la soudure fondre et se répartir quand on pousse 1 à 2 mm de la soudure. 10</p>	

<p>f) On retire la soudure d'abord, et une fraction de seconde plus tard, le fer à souder. On doit voir que la soudure a mouillé le fil et la pastille.</p>	
<p>g) Ce qu'il ne faut pas faire, c'est avec le fer ne chauffer que le fil et pas assez la pastille. Le courant ne va pas passer ! Il faut réchauffer a amener un peu de soudure à causedu flux qui est dedans (du flux suffirait, on voit sur la photo qu'il y aassez de soudure)</p>	 
<p>h) L'autre erreur est de ne chauffer que la pastille et de croire qu'avec une plus grosse goutte de soudure cela sera bon. Mais on voit que la soudure n'est pas montée le long du fil.[5]</p>	

## 1.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté une revue générale sur les procédés de soudage et ainsi des généralités sur le soudage électronique à l'étain et aussi sur l'utilisation du fer à souder.

***Chapitre 2 : Généralités sur  
l'étain et comportement***

## 2.1 Introduction

Les alliages de type SnPb (étain-plomb) sont utilisés depuis plus de cinquante ans dans les assemblages électroniques en tant qu'alliages de brasure.

## 2.2 Historique sur l'étain

L'étain est un élément chimique de symbole Sn (du latin stannum), de numéro atomique 50. Il appartient au sous-groupe IV b de la classification périodique. Il y est compris entre le germanium, fort peu métallique et le plomb. Il se présente d'ailleurs sous plusieurs formes cristallines dont l'une, l'étain gris (forme  $\alpha$ ), n'est pas métallique. Sous sa forme  $\beta$ , l'étain blanc (gris argenté), c'est un métal mou, peu ductile, mais très malléable, facile à laminier en feuilles très minces (papier d'étain), inaltérable à l'air.

L'étain constitue 0,003 pourcent de la croûte terrestre (taux intermédiaire entre ceux du cuivre et du plomb). Il se rencontre essentiellement sous forme d'oxyde SnO<sub>2</sub> (cassitérite) ou de sulfures complexes : Sn<sub>3</sub>Pb<sub>5</sub>Sb<sub>2</sub>S<sub>14</sub> (franckéite), SnCu<sub>2</sub>FeS<sub>4</sub> (stannite)... Les gisements sont généralement très pauvres : les quatre cinquièmes de l'étain produits dans le monde sont extraits de dépôts alluviaux provenant de l'altération des roches magmatiques (granites, rhyolites), ou la cassitérite, principal minerai, est concentrée dans des veines.

La production minière mondiale l'étain est de l'ordre de 250 000 tonnes par an. Elle est dominée à plus de 60% par trois pays : chine (près de 40%), Indonésie et Pérou. Avec l'Australie, la Malaisie, la Bolivie et le Brésil, ces sept pays assurent la quasi-totalité de la production mondiale l'étain [6].

## 2.3 Métallurgie

La métallurgie de l'étain est très ancienne : la pureté des objets confectionnés par les Romains atteint parfois 99,9%. L'oxyde est facilement réduit à l'état métallique par chauffage en présence de carbone. La réduction s'effectue en fait par l'intermédiaire de l'oxyde de carbone provenant de l'oxydation ménagée du carbone :



En raison de leur faible teneur en étain, les minerais doivent subir au préalable une série de traitements. La densité élevée de la cassitérite ( $d = 6,95$ ) permet de la séparation de la gangue. Le minerai subit ensuite un grillage qui fait passer les sulfures de métaux étrangers à l'état d'oxydes, éliminés ensuite par un lavage à l'acide chlorhydrique à 105 °C.

La réduction de la cassitérite s'effectue dans des fours à réverbère ou dans des fours électriques, parfois dans des fours tournants. L'affinage consiste en une fusion à 400 °C. La

faible solubilité des impuretés dans l'étain fondu (0,004 % en poids pour le fer) permet leur séparation par filtration.

L'obtention d'étain de haute pureté nécessite un affinage électrolytique [6].

## 2.4 Microstructure de l'étain pur

L'étain se présente sous trois formes cristallines différentes selon la température :  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Les structures de ces phases sont précisées dans la figure 2.1.

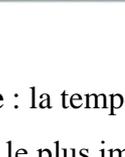
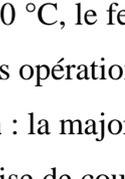
Forme	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Plage de températures	$< 13^\circ\text{C}$	$13^\circ\text{C} < T^\circ < 161^\circ\text{C}$	$161^\circ\text{C} < T^\circ < 232^\circ\text{C}$
Type de structure	Cubique à faces centrées [31]	Tetragonal centré [32]	Orthorhombique [33]
Représentation			

Figure 2.1 : Description des formes allotropiques de l'étain [7].

## 2.5 Fer à souder

La brasure est faite à l'aide du fer à souder illustré par la figure 2.2

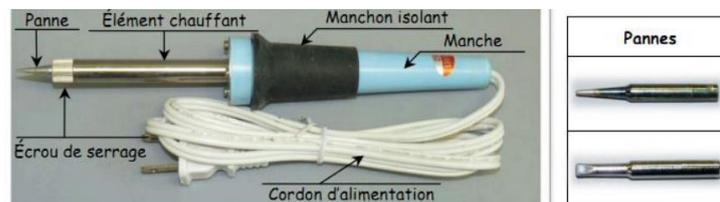


Figure 2.2 : fer à souder.[8]

**2.5.1 Température** : la température de la pointe de soudure (appelée aussi panne de soudure) est l'élément le plus important lors du choix de votre fer. En effet, plus la chaleur est importante, plus le fil à souder pourra fondre et être appliqué pour la soudure. On estime qu'une température de chauffe comprise entre  $350^\circ\text{C}$  et  $380^\circ\text{C}$  est suffisante car elle permet de fondre le fil à souder. C'est le cas d'une réparation sur appareil électronique cassé par exemple. À plus de  $500^\circ\text{C}$ , le fer à souder pourra être utilisé pour des travaux plus importants, comme des opérations de plomberie [9].

**2.5.2 Alimentation** : la majorité des appareils de soudure sont électriques et se relient simplement sur une prise de courant. Pour plus de mobilité dans ses travaux, il existe également des modèles alimentés au gaz, via un petit réservoir constituant le corps de l'appareil. Ils sont parfaitement autonomes mais il faudra toujours disposer d'une recharge de gaz avec soi, l'appareil consommant beaucoup lors de son fonctionnement [9].

**2.5.3 Nombre de pointes de soudures** : un fer à souder est généralement livré avec plusieurs panes de soudure. Vérifiez le nombre, au minimum 5 supplémentaires, ainsi que leurs tailles et leurs formes. Chaque pointe de soudure est utile pour un travail plus ou moins précis [9].

#### **2.5.4 Fer à souder : les avantages et les inconvénients**

Le fer à souder est un équipement utile pour les bricoleurs amateurs comme les plus avancés qui présente de nombreux avantages.

- Son prix est très abordable
- Il est très simple à utiliser, il suffit de brancher ou d'alimenter l'appareil pour qu'il chauffe instantanément
- Il est très compact et permet un travail précis et rapide
- Il chauffe très rapidement, en moins d'une minute.

Le fer à souder présente malgré tout quelques inconvénients à connaître avant l'achat.

- Il chauffe en permanence lors de l'utilisation, ce qui réduit la durée de vie des pointes de soudure.
- La variation de température est possible mais pas aussi précise que sur un poste à souder professionnel [9].

#### **2.5.5 Comment refaire une soudure à l'étain :**

Que vous soyez débutant ou expert dans le domaine de la soudure, il peut arriver de faire une erreur et de rater sa soudure à l'étain. Ne vous inquiétez pas si cela vous arrive, ce n'est pas grave. Il est tout à fait possible de réparer votre erreur et de refaire votre soudure à l'étain. Tout d'abord, il existe des outils spécialement conçus pour cet usage. Ainsi, vous pouvez utiliser une pompe à dessouder qui vous permettra, comme son nom l'indique, de retirer votre soudure. Vous pourrez alors recommencer l'opération depuis le début.

Si vous ne possédez pas de pompe à dessouder, il existe une autre astuce. Vous devrez alors ajouter de l'étain sur la soudure existante, comme si vous souhaitiez réaliser une nouvelle soudure par-dessus. La soudure toute entière va alors fondre et vous pourrez plus facilement la retirer. Il ne vous restera plus qu'à refaire votre soudure [10].

## 2.6 Comportement mécanique des matériaux

### 2.6.1 Introduction

Le *comportement mécanique* relève de la réponse du matériau lorsqu'une force lui est appliquée. Sous contrainte un matériau peut soit se déformer soit se rompre. Le type de déformation engendrée dépend de l'intensité de la contrainte.

Lorsqu'elle est faible la déformation est *élastique* : le matériau retrouve sa forme originale lorsque la contrainte est levée. Si le retour vers la forme initiale prend un certain temps après l'annulation de la contrainte on parle d'effet *anelastique* ou *viscoélastique*.

Des contraintes plus élevées peuvent mener à une déformation *plastique* : le matériau ne retrouve pas sa forme originale lorsque la contrainte est supprimée.

A haute température, une déformation plastique peut se développer avec un certain retard suite à l'application de la contrainte, cet effet est appelé : *fluage*.

A plus forte contrainte on assiste à la fracture, le matériau casse et se sépare en plusieurs morceaux. Si la fracture intervient avant que le matériau n'ait subi une large déformation plastique on parle de *fracture fragile* ; dans le cas contraire il s'agit d'une *fracture ductile* [11].

### 2.6.2 Sollicitations mécaniques des solides

La mécanique des solides sépare trois sollicitations élémentaires, à partir desquelles on définira des grandeurs mécaniques spécifiques :

- La traction/compression uni axiale. La sollicitation se fait le long d'une direction.
- Le cisaillement (torsion).
- La compression uniforme. Effet d'une pression uniforme sur toute la surface du matériau.

Sous l'effet d'une sollicitation mécanique croissante, trois phénomènes sont susceptibles de se succéder [12].

### 2.6.3 Déformation élastique

Tous les matériaux sont concernés ! La déformation élastique est universelle, même si elle est d'ampleur très variable. Sous l'effet d'une contrainte extérieure, le matériau se déforme sous charge, mais revient à sa forme initiale si la charge disparaît [12].

### 2.6.4 Rupture.

Hélas, quand la sollicitation est suffisante, ce phénomène n'épargne aucun matériau, mais il existe deux modes de rupture bien différents [12].

- **Rupture fragile.**

C'est le cas le plus répandu. Toutes les liaisons de la section sous contrainte se rompent presque simultanément et une fissure fatale se propage à très grande vitesse, sans avoir besoin d'une énergie extérieure et sans pouvoir être stoppée.

En fait, c'est la déformation élastique précédant la rupture qui a stocké suffisamment d'énergie pour assurer la propagation de la fissure [12].

## 3. Essai de traction d'un matériau

Il existe bien des façons de martyriser mécaniquement une pièce et beaucoup d'essais ont été imaginés pour rendre compte du comportement.

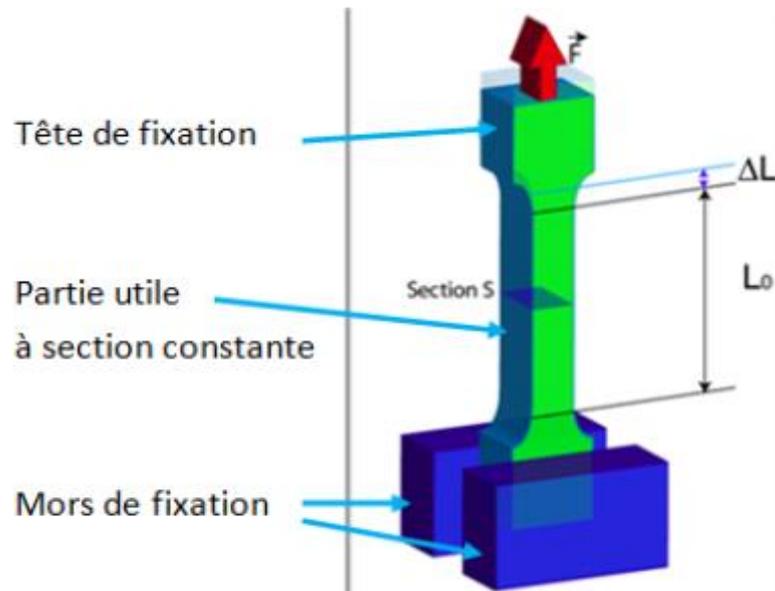
Mais nous aborderons d'abord la sollicitation de traction (ou tension) parce qu'il s'agit de l'effet mécanique le plus intéressant pour caractériser le comportement du solide.

En effet, lors du même essai, on peut observer l'élasticité, la ductilité éventuelle et le mode de rupture. De plus, au fur et à mesure que la déformation augmente, la section diminue, et la charge a donc tendance à diminuer, ce qui demande des machines d'essai peu puissantes.

### 3.1 Essai de traction

Le comportement en traction est caractérisé par l'essai de traction monotone, qui fait l'objet de nombreuses normes décrivant en détail la façon de procéder.

L'échantillon est élancé, et caractérisé par une « partie utile » centrale, à section constante  $S_0$ , et de longueur initiale  $L_0$ . Sous l'effet d'une force uniaxiale  $F$ , le matériau est soumis à une contrainte uniforme dans la partie utile [12].



**Figure 2.3** essai de traction [12].

Les extrémités de l'échantillon servent à la fixation dans les mors de la machine d'essai.

Pendant l'essai, la machine assurera une déformation  $\Delta L$  à vitesse constante, quel que soit l'effort de traction. On assurera également une température constante pendant l'essai.

On rencontre souvent de grandes difficultés pour fabriquer ces échantillons, ou éprouvettes de traction, et les techniques de prélèvement et d'usinage ont parfois beaucoup d'influence sur les résultats de l'essai.

C'est particulièrement vrai pour les matériaux fragiles [12].

### 3.2 Résultats de l'essai de traction :

La courbe brute de traction est celle que fournissent les capteurs de la machine :

- L'ordonnée est la force de traction  $F$ , mesurée en newtons.
- L'abscisse est l'allongement absolu  $\Delta L$  en millimètres.

Cette courbe n'offre pas beaucoup d'intérêt car les résultats dépendent trop des dimensions de l'échantillon. C'est pourquoi on effectue la modification suivante des données brutes.

La courbe nominale ou conventionnelle de traction se trace avec :

- En ordonnée la contrainte de traction  $\sigma_N = \frac{F}{S_0}$  en MPa, soit en N/mm<sup>2</sup>.
- En abscisse la déformation relative  $e = \frac{\Delta L}{L_0}$ , sans dimension. Souvent en %.

Avec ces variables, le résultat est indépendant des dimensions initiales de l'échantillon.

Normalement, l'essai de traction se pratique jusqu'à rupture de l'échantillon [12].

#### **4. Conclusion**

Dans ce chapitre, on a présenté des généralités sur l'étain, sa métallurgie. On a décrit le comportement mécanique du matériau ainsi que l'essai de traction.

***Chapitre 3 : partie  
expérimentale***

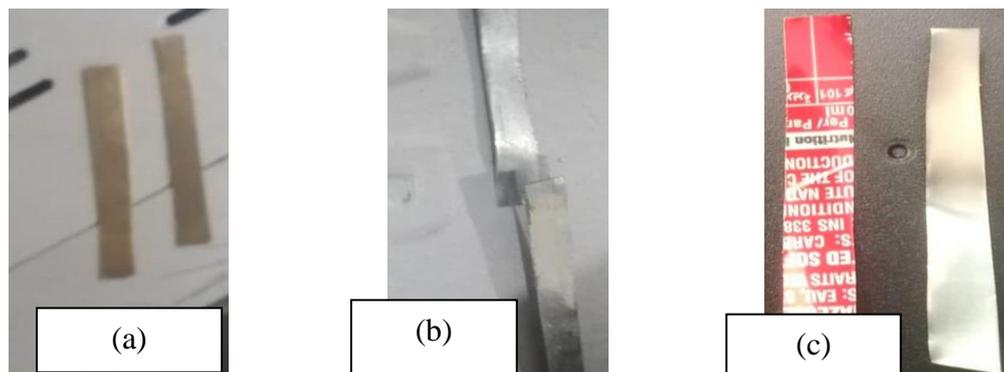
### 3.1 Introduction :

Pour l'étude du comportement des caractéristiques mécaniques de la soudure à l'étain (la brasure) on va faire des essais de 3 métaux différents soudés par l'étain avec l'utilisation de trois fers à souder de puissance différente 40watt, 60watt et 100watt. Cela pour déterminer et connaître environ la résistance à la rupture maximale  $R_{max}$  des brasures faites manuellement par des opérateurs ou des personnes particulières amateurs.

Les éprouvettes utilisées sont de matières différentes : Cuivre-cuivre, acier-acier et tôle cannette-tôle cannette. La brasure sera faite bout à bout et par recouvrement

### 3.2 Préparation des éprouvettes :

On a préparé des éprouvettes de matières différentes : cuivre, acier et tôle cannette illustrées par les photos de la figure 3.1a, b et c dont dix-huit longueurs pour le cuivre, pour l'acier et pour la tôle cannette chacun. Neuf pièces pour la brasure bout à bout et neuf pièces pour la brasure par recouvrement chacun.



**Figure 3.1** : Matière des pièces (a) cuivre, (b) acier (c) tôle cannette

Les dimensions des éprouvettes sont données dans le tableau 3.1 suivant :

**Tableau 3.1** : dimensions des éprouvettes

Cuivre / cuivre	Longueur	Largeur	Epaisseur
	30mm	6mm	0.6mm
Acier / acier	Longueur	Largeur	Epaisseur
	30mm	6mm	0.35mm
Tôle cannette / tôle cannette	Longueur	Largeur	Epaisseur
	30mm	6mm	0.1mm

### 3.3 Brasure cuivre-cuivre à l'aide du fer à souder de 40, 60 et 100watts

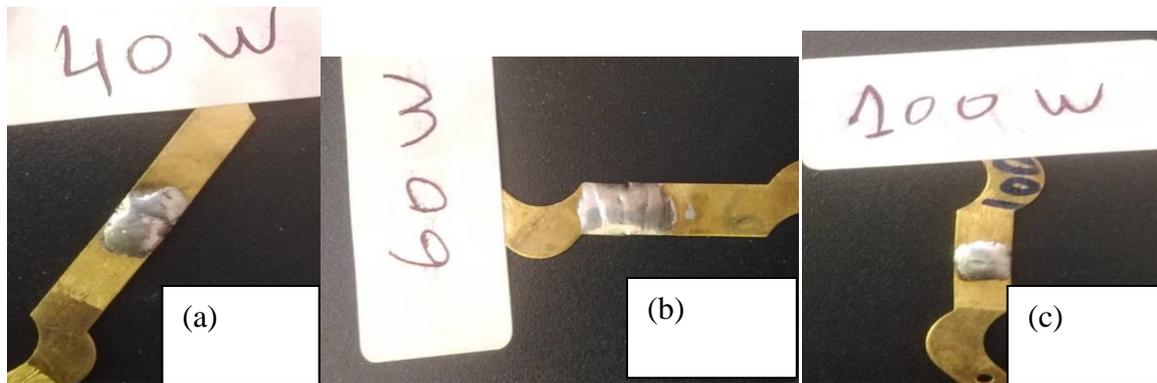
#### 3.3.1 Brasure cuivre-cuivre bout à bout

La figure 3.2 montre une photo de l'assemblage des deux demi-pièces par brasage



**Figure 3.2** : brasage à l'aide du fer à souder et étain

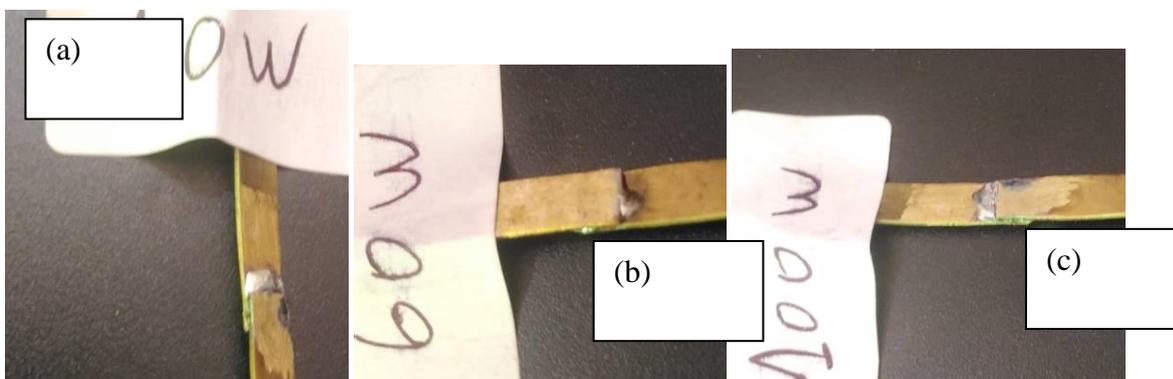
On a assemblé chaque trois pièces coupées en deux (15mm+15mm) bout à bout par brasure à l'étain simultanément avec les fers à souder de 40, 60 et 100watts illustrées par la figure 3.3a, b et c



**Figure 3.3** : pièces cuivre bout à bout brasées à l'étain

#### 3.3.2 Brasure cuivre-cuivre par recouvrement

On a assemblé chaque trois pièces coupées en deux (15mm+15mm) par recouvrement par brasure à l'étain simultanément avec les fers à souder de 40, 60 et 100watts illustrées par la figure 3.4 a, b et c



**Figure 3.4** : pièces cuivre par recouvrement brasées à l'étain

### 3.4 Brasure acier-acier à l'aide du fer à souder de 40, 60 et 100watts

#### 3.4.1 Brasure acier-acier bout à bout

On a assemblé chaque trois pièces coupées en deux (15mm+15mm) bout à bout par brasure à l'étain simultanément avec les fers à souder de 40, 60 et 100watts illustrées par la figure3.5 a,b et c

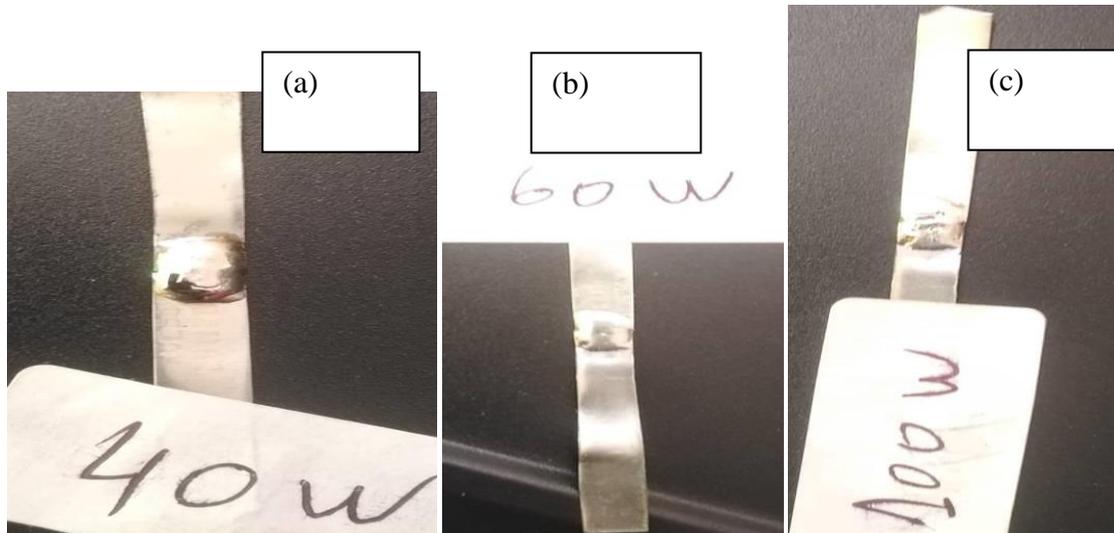


Figure3.5 : pièces acier bout à bout brasées à l'étain

#### 3.4.2 Brasure acier-acier par recouvrement

On a assemblé chaque trois pièces coupées en deux (15mm+15mm) par recouvrement par brasure à l'étain simultanément avec les fers à souder de 40, 60 et 100watts illustrées par la figure3.6 a,b et c

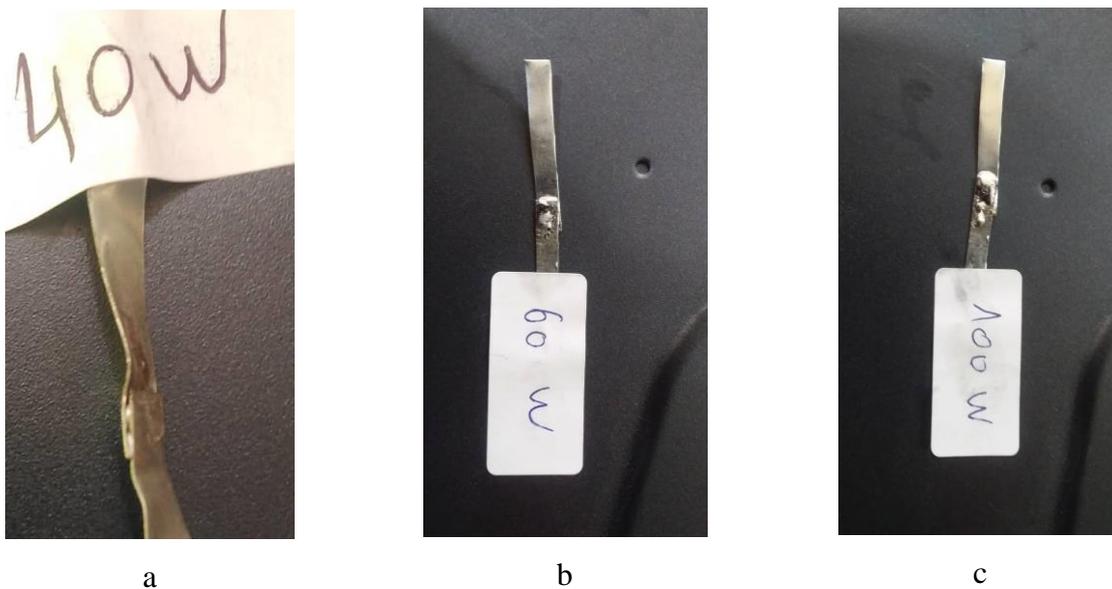


Figure3.6 : pièces acier par recouvrement brasées à l'étain

### 3.5 Brasure tôle cannette-tôle cannette à l'aide du fer à souder de 40, 60 et 100watts

#### 3.5.1 Brasure tôle cannette-tôle cannette bout à bout

On a assemblé chaque trois pièces coupées en deux (15mm+15mm) bout à bout par brasure à l'étain simultanément avec les fers à souder de 40, 60 et 100watts illustrées par la figure3.7a,b et c

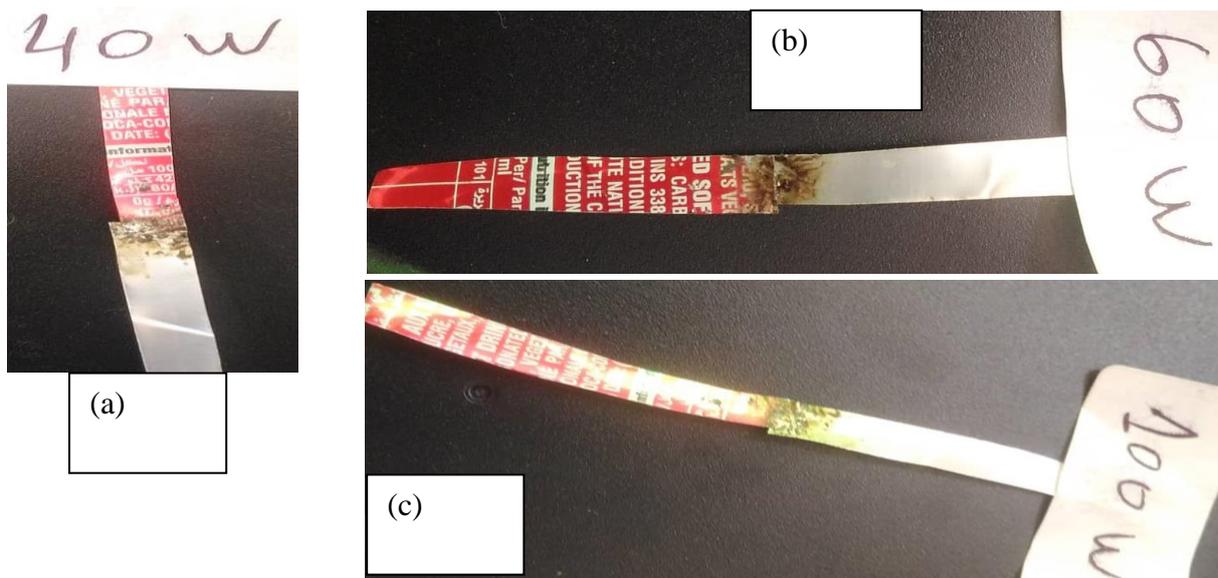


Figure3.7 : pièces acier cannette bout à bout brasées à l'étain

#### 3.5.2 Brasure tôle cannette-tôle cannette par recouvrement

On a assemblé chaque trois pièces coupées en deux (15mm+15mm) par brasure à l'étain par recouvrement simultanément avec les fers à souder de 40, 60 et 100watts illustrées par la figure3.8a, b et c

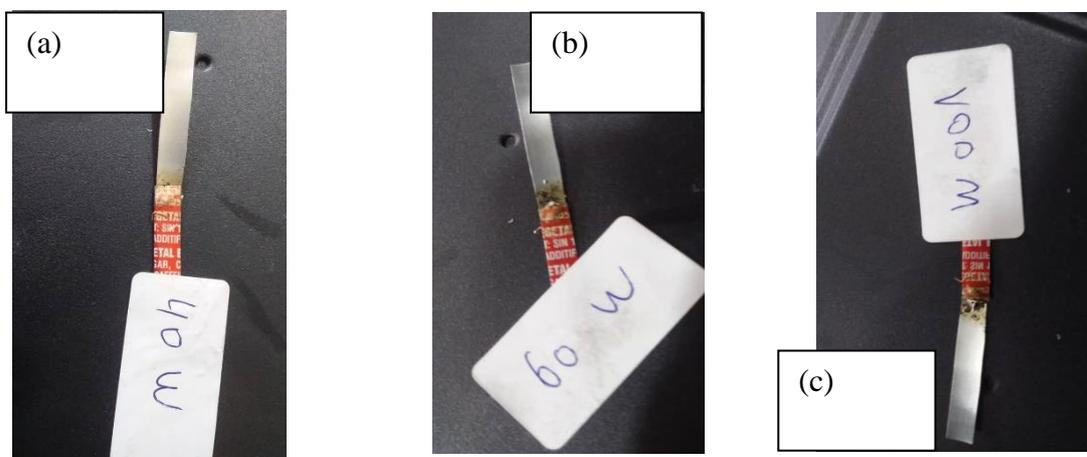


Figure 3.8 : pièces acier cannette recouvrement brasées à l'étain

### 3.6 Essai de traction des éprouvettes en cuivre brasées

Pour faire notre essai, on a utilisé une machine de traction traditionnelle fabriquée personnellement.

Cette machine nous permet de faire des essais sur notre éprouvette suivant les étapes citées ci-dessous :

1<sup>ère</sup> étape : on doit fixer l'éprouvette solidement entre les mâchoires (dispositif de fixation) de la machine et on commence par poser des charges de 10 kg jusqu'à 30 kg dans le bidon qui est relié avec un câble qui traverse deux poulies et de l'autre côté de l'éprouvette, le câble est maintenu dans la mâchoire mobile.

2<sup>ème</sup> étape : on commence à verser progressivement le sable dans le bidon jusqu'à la rupture de la pièce.

3<sup>ème</sup> étape : après la rupture, on prend le sable pour le peser et on calcule la masse totale M, puis on déduit la charge F appliquée avec l'équation suivante :

$$F(N) = M(Kg) \times G(m/s^2)$$



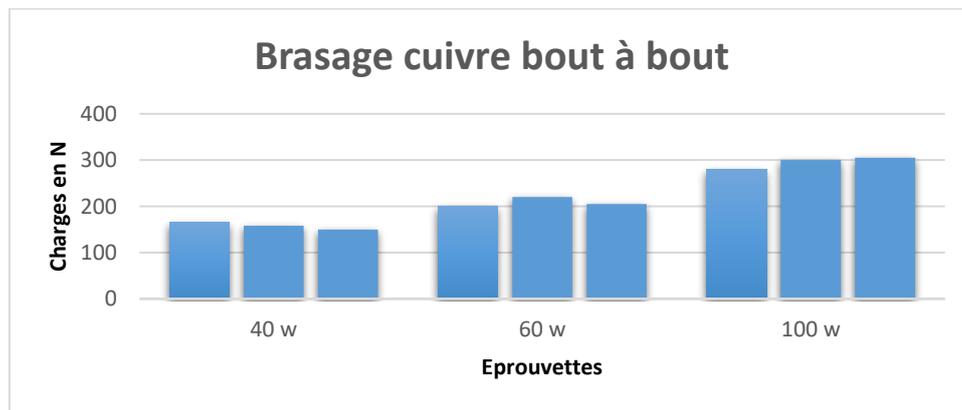
**Figure 3.9** : machine de traction

### 3.6.1 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en cuivre bout à bout

**Tableau 3.2** : Valeurs des forces de rupture maximales

Fer à souder	40w		60w		100w
Eprouvette 1	165N	Eprouvette 4	200N	Eprouvette 7	280N
Eprouvette 2	158N	Eprouvette 5	220N	Eprouvette 8	300N
Eprouvette 3	180N	Eprouvette 6	205N	Eprouvette 9	305N

La figure 3.10 représente l'histogramme représentatif des valeurs des charges de la brasure cuivre bout à bout avec le fer à souder de 40watt ,60watt et 100watt.



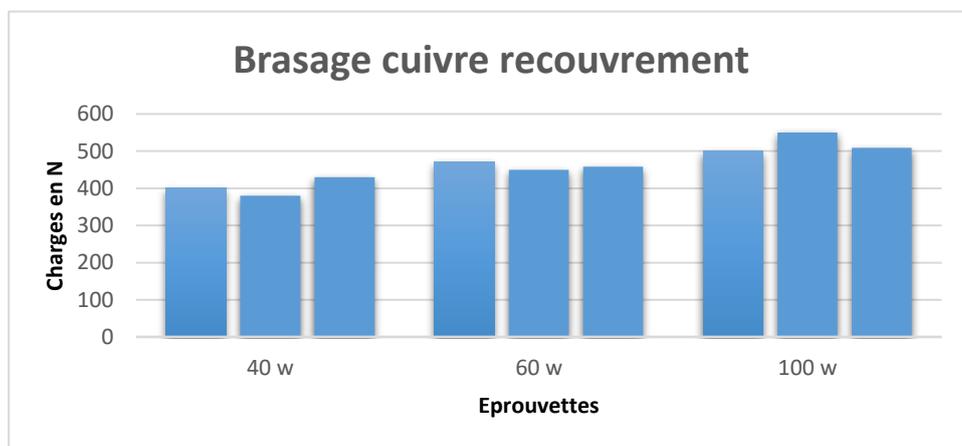
**Figure 3.10** valeurs des charges de brasure cuivre bout à bout

### 3.6.2 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en cuivre par recouvrement

**Tableau 3.3** Valeurs des forces de rupture maximales en cuivre par recouvrement

Fer à souder	40w		60w		100w
Eprouvette 10	400N	Eprouvette 13	470N	Eprouvette 16	500N
Eprouvette 11	380N	Eprouvette 14	450N	Eprouvette 17	550N
Eprouvette 12	430N	Eprouvette 15	458N	Eprouvette 18	509N

Le figure 3.11 représente l'histogramme représentatif des valeurs des charges de la brasure cuivre recouvrement avec le fer à souder de 40watt ,60watt et 100watt.



**Figure3.11** valeurs des charges de brasure cuivre recouvrement

### 3.7 Essai de traction des éprouvettes en acier brasées

On place les éprouvettes brasées en acier dans la machine de traction une après une leur en donnant des charges jusqu'à rupture.

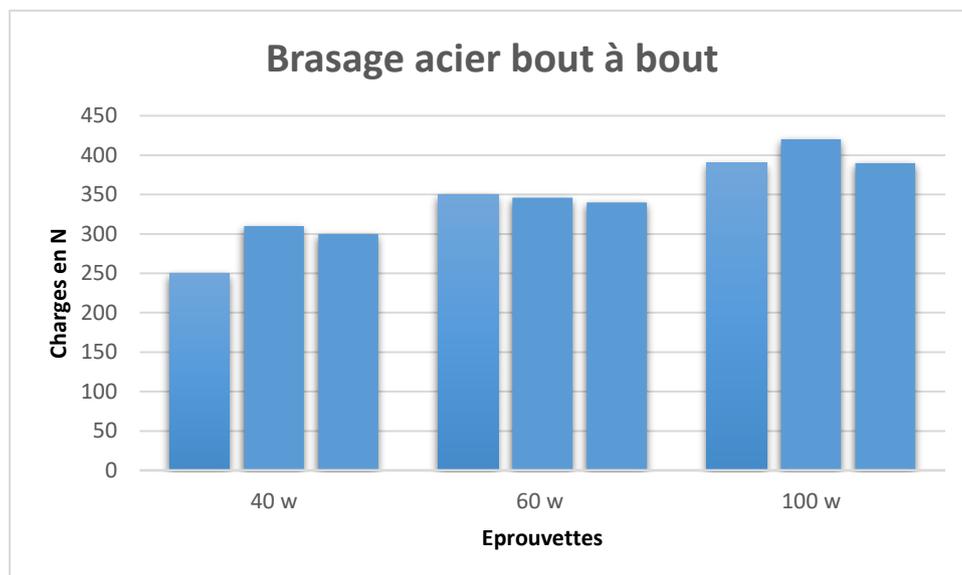
#### 3.7.1 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en acier bout à bout

Les valeurs des forces de rupture maximales sont données dans le tableau3.4

**Tableau3.4** Valeurs des forces de rupture maximales en acier bout à bout

Fer à souder	40w		60w		100w
Eprouvette 19	250N	Eprouvette 22	350N	Eprouvette 25	390N
Eprouvette 20	310N	Eprouvette 23	346N	Eprouvette 26	420N
Eprouvette 21	300N	Eprouvette 24	340N	Eprouvette 27	390N

Le figure 3.12 représente l'histogramme représentatif des valeurs des charges de la brasure acier bout à bout avec le fer à souder de 40watt ,60watt et 100watt



**Figure3.12** valeurs des charges de brasure acier bout à bout

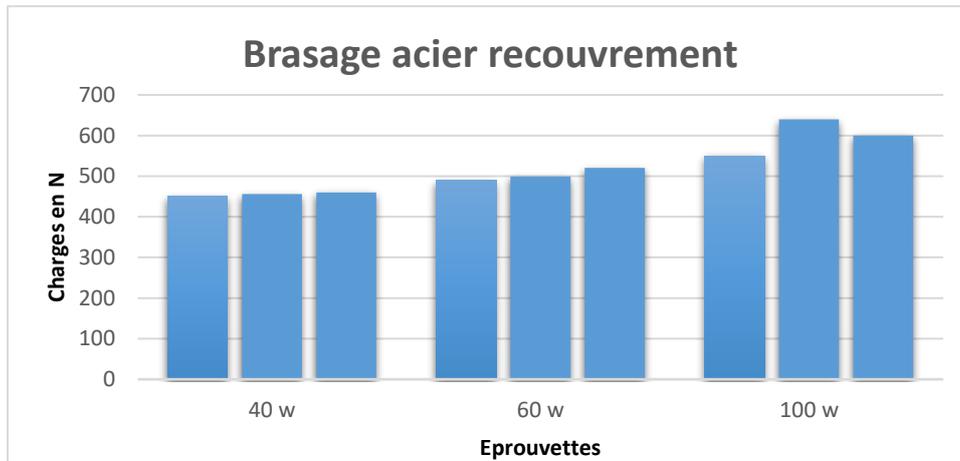
#### 3.7.2 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en acier par recouvrement

Les valeurs des forces de rupture maximales sont données dans le tableau3.5

**Tableau3.5** Valeurs des forces de rupture maximales acier recouvrement

Fer à souder	40w		60w		100w
Eprouvette 28	450N	Eprouvette 31	490N	Eprouvette 34	550N
Eprouvette 29	456N	Eprouvette 32	499N	Eprouvette 35	640N
Eprouvette 30	460N	Eprouvette 33	520N	Eprouvette 36	600N

La figure 3.13 représente l'histogramme représentatif des valeurs des charges de la brasure acier recouvrement avec le fer à souder de 40watt ,60watt et 100watt.



**Figure3.13** : valeurs des charges de brasure acier recouvrement

### 3.8 Essai de traction des éprouvettes brasées en tôle de cannette

On place aussi une après une les éprouvettes brasées en tôle de cannette dans la machine de traction en leur donnant des charges jusqu'à rupture.

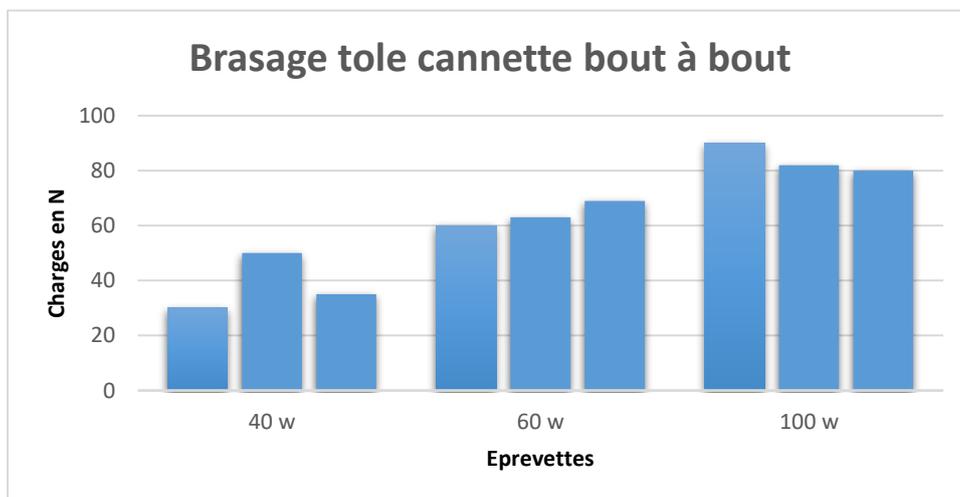
#### 3.8.1 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en tôle de cannette bout à bout

Les valeurs des forces de rupture maximales sont données dans le tableau3.6

**Tableau3.6** Valeurs des forces de rupture maximales tôle cannette bout à bout

Fer à souder	40w		60w		100w
Eprouvette 37	30N	Eprouvette 40	60N	Eprouvette 43	90N
Eprouvette 38	50N	Eprouvette 41	63N	Eprouvette 44	82N
Eprouvette 39	35N	Eprouvette 42	69N	Eprouvette 45	80N

Le figure 3.14 représente l'histogramme représentatif des valeurs des charges de la brasure tôle cannette bout à bout avec le fer à souder de 40watt ,60watt et 100watt



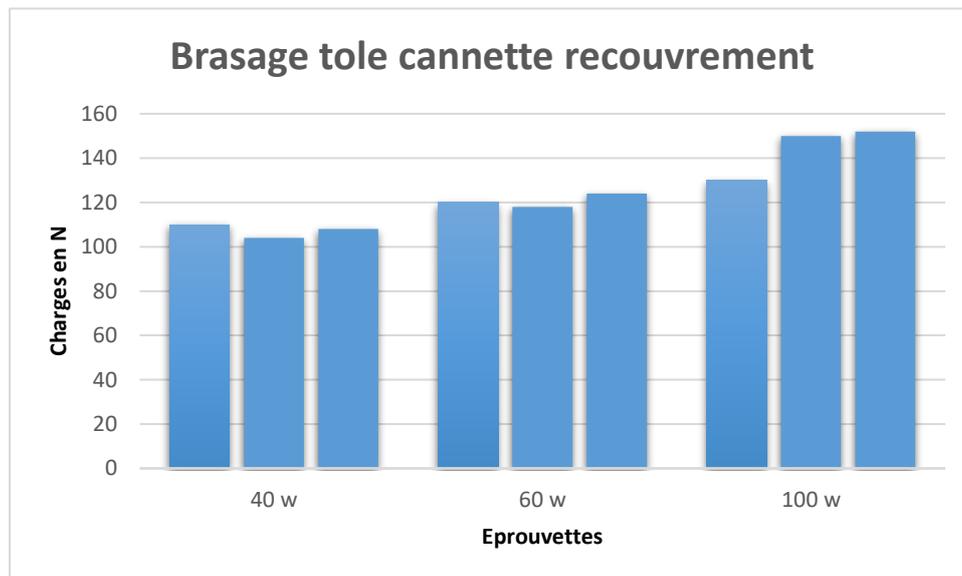
**Figure3.14** valeurs des charges de brasure tôle cannette bout à bout

### 3.8.2 Valeurs des forces de rupture des éprouvettes en tôle de cannette par recouvrement

**Tableau 3.7** Valeurs des forces de rupture maximales tôle cannette

Fer à souder	40w		60w		100w
Eprouvette 46	110N	Eprouvette 49	120N	Eprouvette 52	130N
Eprouvette 47	104N	Eprouvette 55	118N	Eprouvette 53	150N
Eprouvette 48	108N	Eprouvette 51	124N	Eprouvette 54	152N

Le figure 3.15 représente l'histogramme représentatif des valeurs des charges de la brasure tôle cannette recouvrement avec le fer à souder de 40watt ,60watt et 100watt.



**Figure3.15** valeurs des charges de brasure tôle cannette recouvrement

### 3.9 Interpretation des résultats

On constate que les charges de rupture croient en fonction de la puissance des fers à souder, et on remarque que pour un fer à souder les valeurs des chaque trois éprouvettes sont approximativement proches.

Cela est dû peut-être à la qualité du brasage et la quantité du métal d'apport et de l'opérateur

### 3.10 Conclusion

Ce chapitre décrit la partie expérimentale qui comporte les essais de traction avec les représentations des histogrammes Excel qui présentent les valeurs des charges de rupture maximales.

***Chapitre 4 : modélisation  
numérique***

## 4.1 Introduction

Pour valider les valeurs on utilise SolidWorks pour simuler les charges un exemple cuivre-cuivre, acier-acier et tôle cannette.

## 4.2 La simulation numérique:

Les solutions de simulation pour SOLIDWORKS, constituent un portefeuille facile à utiliser d'outils d'analyse, permettant de prédire le comportement physique réel d'un produit, en testant virtuellement des modèles CAO. Les fonctionnalités exceptionnelles de SOLIDWORKS Simulation, répondent à toutes les préoccupations que peut avoir un concepteur ; la rapidité de mise en œuvre, la puissance et la précision de ces analyses vous permettant d'améliorer la qualité, la fiabilité et la performance de vos produits. On peut ainsi en mesure de résoudre vos problématiques d'ingénierie, grâce à des scénarios de chargement complexes et de nombreux tests physiques, tout en bénéficiant d'un large éventail de paramètres : réponse linéaire, non linéaire statique et dynamique, comportement thermique, fatigue, mais également l'analyse de chargement dynamique et de matériaux. SOLIDWORKS Simulation garantit la robustesse de notre produit, tout en limitant considérablement les coûts liés au prototypage et aux différents tests physiques.

## 4.3 Les méthodes numériques connues :

Les grandes familles de méthodes numériques de résolution d'équations aux dérivées partielles sont au nombre de quatre :

- La méthode des différences finies (**MDF**).
- La méthode des volumes finis (**MVF**).
- La méthode des éléments finis (**MEF**).
- La méthode des caractéristiques (**MC**).

### 4.3.1 Méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis (MÉF) est une manière numérique de résoudre certains des problèmes de physique. C'est une méthode qui permet de déterminer une solution approchée sur un domaine spatial, c'est-à-dire qui permet de calculer un champ (de scalaires, de vecteurs, de tenseurs) qui correspond à certaines équations et à certaines conditions imposées.

La méthode consiste à découper le domaine spatial en petits éléments, également appelés mailles, et à rechercher une formulation simplifiée du problème sur chaque élément, c'est-à-dire à transformer le système d'équations quelconque en un système d'équations linéaires. Chaque système d'équations linéaires peut se représenter par une matrice. Les systèmes

d'équations pour tous les éléments sont ensuite rassemblés, ce qui forme une grande matrice ; la résolution de ce système global donne la solution approchée au problème.

La quantité de calculs nécessite l'emploi d'un ordinateur.

### 4.4 Simulation de brasage cuivre-cuivre

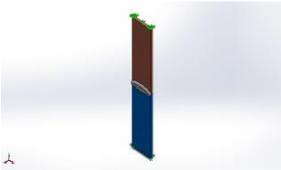
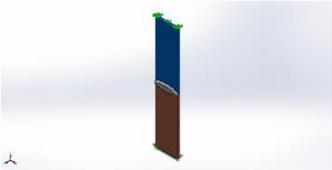
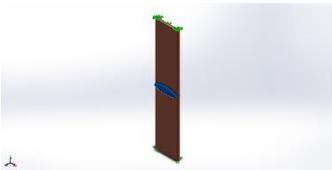
#### 4.4.1 Condition aux limites et condition initiale :

Les conditions aux limites pour simulation numérique on fixe un coté de la pièce de cuivre et on applique une charge pour déterminer la résistance de rupture



Figure 4.1 : éprouvette cuivre-cuivre.

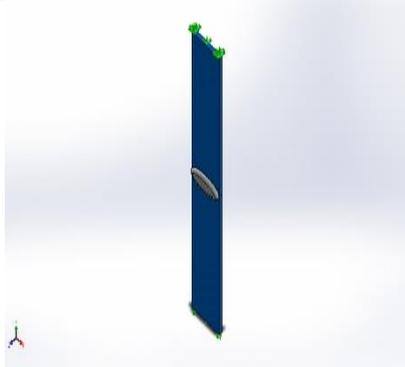
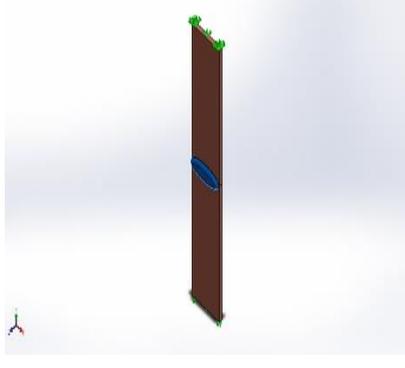
Tableaux 4.1 : condition initiale

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
<b>Boss-Extrude1</b> 	Solid Body	Mass:0.0004806 kg Volume:5.4e-08 m <sup>3</sup> Density:8900 kg/m <sup>3</sup> Weight:0.00470988 N	C:\Users\HALL DE TECHNOLOGIE\Desktop\Simulation Solidworks\Part1.SLDPRT Sep 20 14:52:08 202
<b>Boss-Extrude1</b> 	Solid Body	Mass:0.0004806 kg Volume:5.4e-08 m <sup>3</sup> Density:8900 kg/m <sup>3</sup> Weight:0.00470988 N	C:\Users\HALL DE TECHNOLOGIE\Desktop\Simulation Solidworks\Part1.SLDPRT Sep 20 14:52:08 2022
<b>Fillet7</b> 	Solid Body	Mass:2.50759e-05 kg Volume:3.7399e-09 m <sup>3</sup> Density:6704.95 kg/m <sup>3</sup> Weight:0.000245743 N	Mass:2.50759e-05 kg Volume:3.7399e-09 m <sup>3</sup> Density:6704.95 kg/m <sup>3</sup> Weight:0.000245743 N

### 4.4.3 Propriétés géométriques et physiques des matériaux :

Ce modèle se compose de deux pièces cuivre assemblées par l'étain.

**Tableaux 4.2** : propriétés du cuivre.

Model Reference	Properties	Components
	Name: <b>Copper</b> Model type: <b>Plasticity - von Mises</b> Default failure criterion: <b>Max von Mises Stress</b> Yield strength: <b>2.58646e+08 N/m<sup>2</sup></b> Elastic modulus: <b>1.1e+11 N/m<sup>2</sup></b> Poisson's ratio: <b>0.37</b> Mass density: <b>8900 kg/m<sup>3</sup></b> Thermal expansion coefficient: <b>2.4e-05 /Kelvin</b>	<b>Solid Body 1(Boss-Extrude1)(Part1-1),</b>
	Name: <b>Zinc AC41A Alloy, As Cast</b> Model type: <b>Plasticity - von Mises</b> Default failure criterion: <b>Unknown</b> Yield strength: <b>7.5e+07 N/m<sup>2</sup></b> Elastic modulus: <b>8.5e+10 N/m<sup>2</sup></b> Poisson's ratio: <b>0.3</b> Mass density: <b>6700 kg/m<sup>3</sup></b> Thermal expansion coefficient: <b>2.74e-05 /Kelvin</b>	<b>Solid Body 1(Fillet7)(Part2-1)</b>

### 4.4.3 Maillage :

Le choix de la taille de maillage se fait par une simulation le maximum élément 1.25296 mm et Minimum 0.250591 mm.



**Figure 4.2** : maillage.

### 4.4.4 Résultats et interprétations

Après la simulation on va analyser les résultats

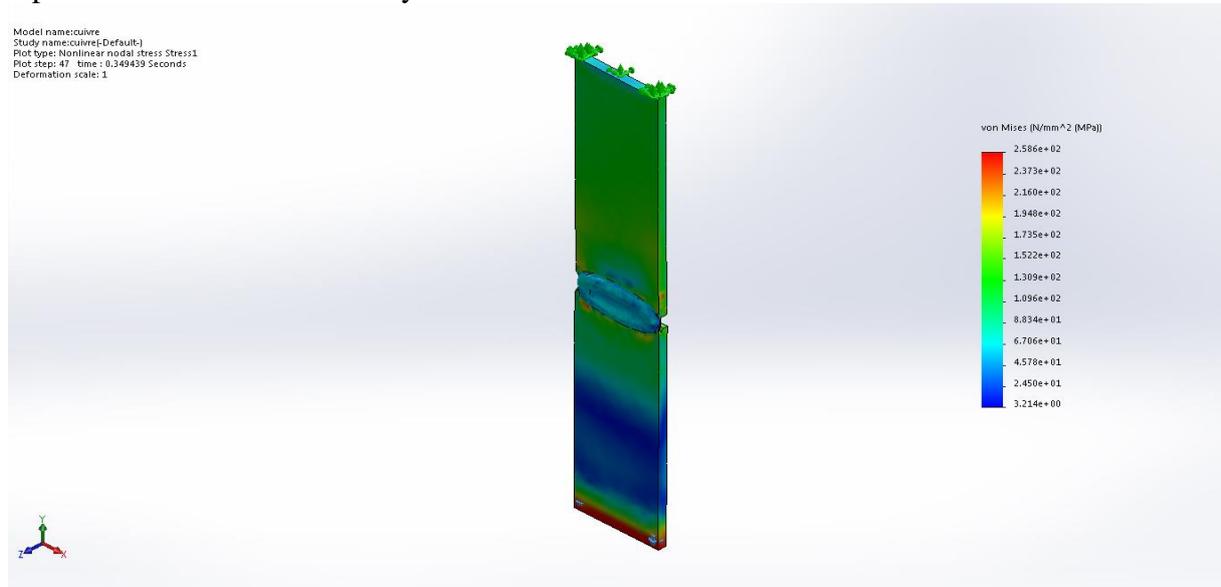


Figure 4.3 : résultats de simulation de cuivre.

Tableau 4.3 : résultats de simulation de cuivre

Type	Min	Max
VON: von Mises Stress at Step No: 47(0.349439 Seconds)	VON: von Mises Stress at Step No: 47(0.349439 Seconds)	2.586e+02 N/mm^2 (MPa) Node: 367

### 4.4.5 Interprétation du brasage cuivre

$\sigma_n$ : Contrainte de simulation  
 F : force d'essai expérimental  
 S : section

$$\sigma_n = 258.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{6 \times 0.6} = \frac{F}{3.6}$$

$$\sigma = \frac{509}{3.6} = 141.38 \text{ N/mm}^2$$

Le résultat de l'essai pratique est loin du résultat de simulation

La section de l'étain c'est la couche qui relie les deux demi-pièces, le dépôt de l'étain était irrégulier par rapport aux éprouvettes, pour cela je vais prendre un coefficient de réduction de 2 ; c'est-à-dire la section

$$\frac{S}{2} = \frac{3.6}{2} = 1.8 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{509}{1.8} = 282.77 \text{ N/mm}^2$$

### 4.4.6 Contrainte von Mises en fonction du déplacement

Cette figure montre la variation des contraintes normales en fonction du déplacement.

On remarque à 0.02mm de déplacement une chute de charge

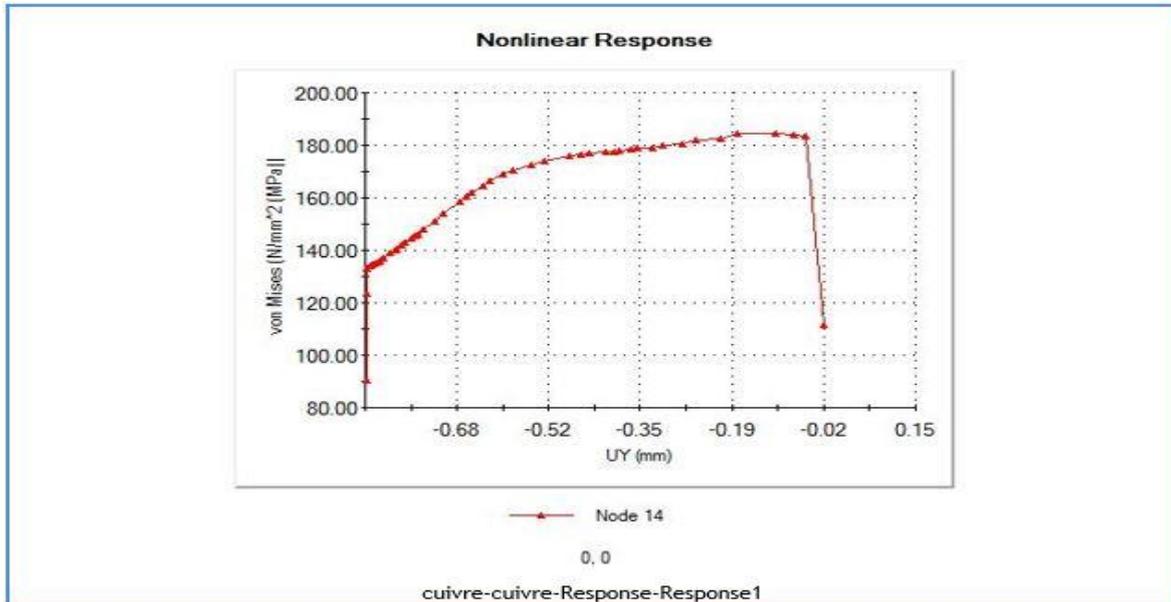


Figure 4.4 : diagramme des contraintes en fonction de l'allongement

### 4.4.7 Contrainte von Mises en fonction du temps

Cette figure 4.5 montre la variation des contraintes normales en fonction du temps.

On remarque à 0.35 seconde une chute de charge

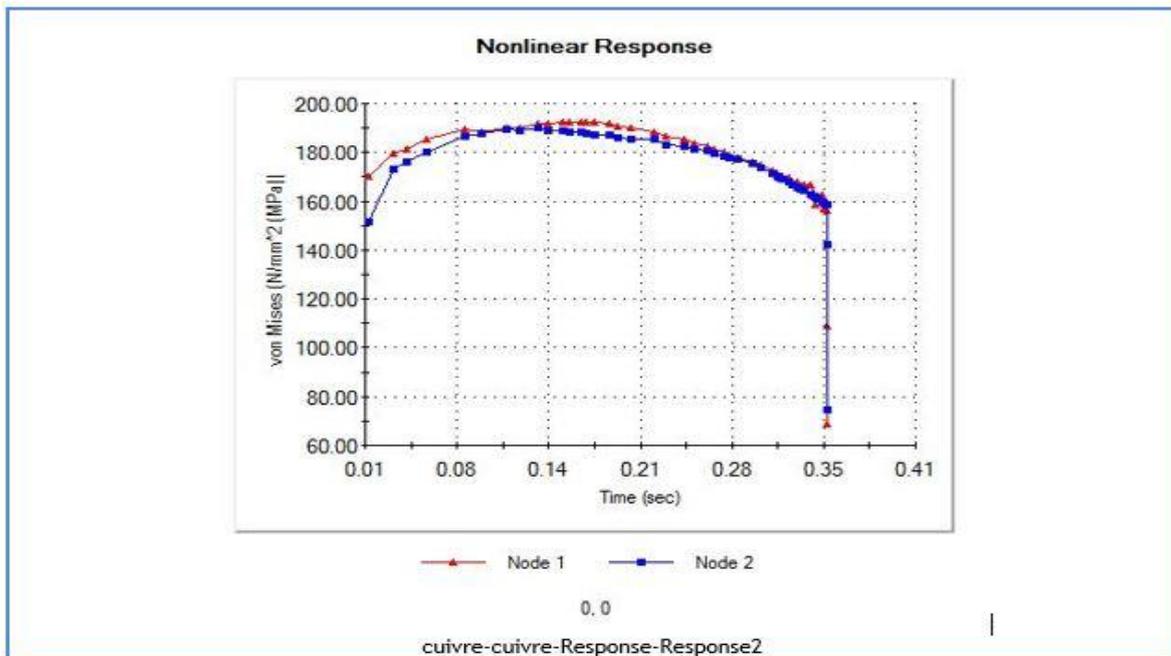


Figure 4.5 : diagramme des contraintes en fonction du temps.

## 4.5 Simulation de brasage acier

### 4.5.1 Condition aux limites et condition initiale :

Les conditions aux limites pour simulation numérique on fixe deux pièce d'acier et appliqué une charge pour déterminer la résistance de rupture

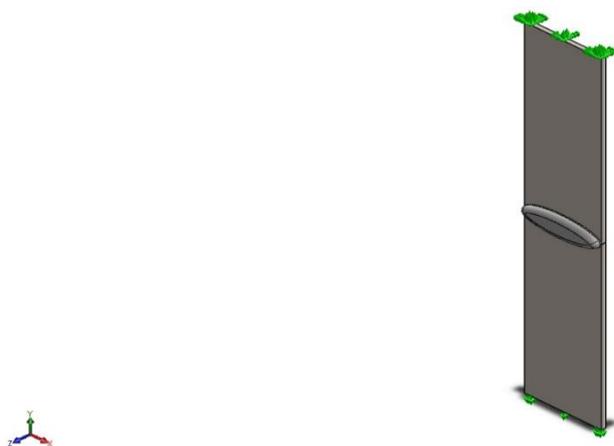
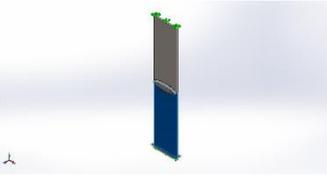
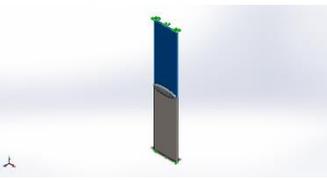
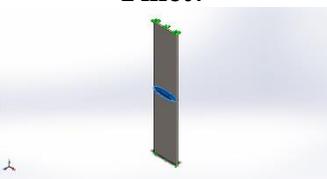


Figure 4.6 : éprouvette acier.

Tableaux 4.4 : condition initiale

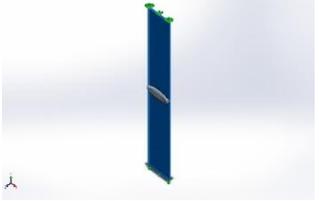
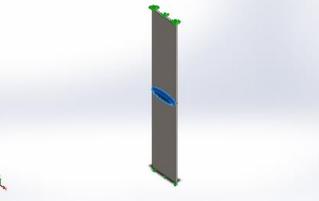
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modifie
<b>Boss-Extrude1</b> 	Solid Body	Mass:0.00024255 kg Volume:3.15e-08 m <sup>3</sup> Density:7700 kg/m <sup>3</sup> Weight:0.00237699 N	C:\Users\HALL DE TECHNOLOGIE\Desktop\Simulation Solidworks\Part1.SLDPRT Sep 21 09:55:51 2022
<b>Boss-Extrude1</b> 	Solid Body	Mass:0.00024255 kg Volume:3.15e-08 m <sup>3</sup> Density:7700 kg/m <sup>3</sup> Weight:0.00237699 N	C:\Users\HALL DE TECHNOLOGIE\Desktop\Simulation Solidworks\Part1.SLDPRT Sep 21 09:55:51 2022
<b>Fillet7</b> 	Solid Body	Mass:2.50607e-05 kg Volume:3.7399e-09 m <sup>3</sup> Density:6700.89 kg/m <sup>3</sup>	C:\Users\HALL DE TECHNOLOGIE\Desktop\Simulation Solidworks\Part2.SLDPRT Sep 20 10:08:58 2022

	<b>Weight:0.000245594</b>	
--	---------------------------	--

### 4.5.2 Propriétés géométriques et physiques des matériaux :

Ce modèle se compose de deux pièces en acier assemblées par l'étain.

**Tableaux 4.5** : propriétés des aciers.

Model Reference	Propertes	Components
	Name: <b>Alloy Steel</b> Model type: <b>Plasticity - von Mises</b> Default failure criterion: <b>Max von Mises Stress</b> Yield strength: <b>6.20422e+08 N/m^2</b> Elastic modulus: <b>2.1e+11 N/m^2</b> Poisson's ratio: <b>0.28</b> Mass density: <b>7700 kg/m^3</b> Thermal expansion coefficient: <b>1.3e-05 /Kelvin</b>	<b>SolidBody 1(Boss-Extrude1)(Part1-1), Solid Body 1(Boss-Extrude1)(Part1-2)</b>
	Name: <b>Zinc AC41A Alloy, As Cast</b> Model type: <b>Plasticity - von Mises</b> Default failure criterion: <b>Unknown</b> Yield strength: <b>7.5e+07 N/m^2</b> Elastic modulus: <b>8.5e+10 N/m^2</b> Poisson's ratio: <b>0.3</b> Mass density: <b>6700 kg/m^3</b> Thermal expansion coefficient: <b>2.74e-05 /Kelvin</b>	<b>Soli Body 1(Fillet7)(Part2-1)</b>

### 4.5.3 Maillage :

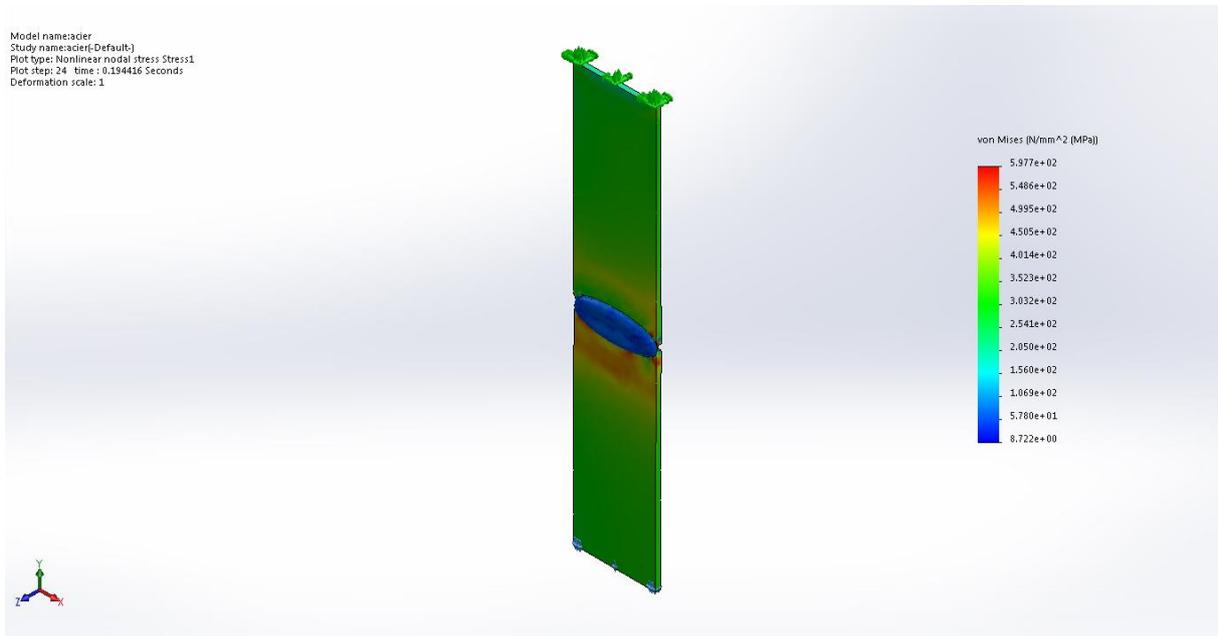
Le choix de la taille de maillage se fait par une simulation le maximum élément 0.811688 mm et Minimum 0.162338 mm.



**Figure 4.7** : maillage.

### 4.5.4 Résultats et interprétations

Après la simulation on va analyser les résultats



**Figure 4.8** : résultat de simulation d’acier.

**Tableaux 4.6** : résultat de simulation d’acier

Type	Min	Max
VON: von Mises Stress at Step No: 24(0.194416 Seconds)	8.722e+00 N/mm^2 (MPA) Node: 6181	5.977e+02 N/mm^2 (MPA) Node: 568

### 4.5.5 Interprétation du brasage acier

$\sigma_n$  Contrainte de simulation

F force d’essai expérimental

S la section

$$\sigma_n = 597.7 N/mm^2$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{6 \times 0.35} = \frac{F}{2.1}$$

$$\sigma = \frac{640}{2.1} = 304.76 N/mm^2$$

Le résultat de l’essai pratique est loin du résultat de simulation

La section de l’étain c’est la couche qui relie les deux demi-pièces, le dépôt de l’étain était irrégulier par rapport aux éprouvettes, pour cela je vais prendre un coefficient de réduction de

2 ; c’est-à-dire la section  $\frac{S}{2} = \frac{2.1}{2} = 1.05 mm^2$

$$\sigma = \frac{640}{1.05} = 609.52 N/mm^2$$

#### 4.5.6 Contrainte von Mises en fonction du déplacement

Ce figure 4.9 montre la variation des contraintes normales en fonction le déplacement. On remarque a 0.02mm de déplacement une chute de charge.

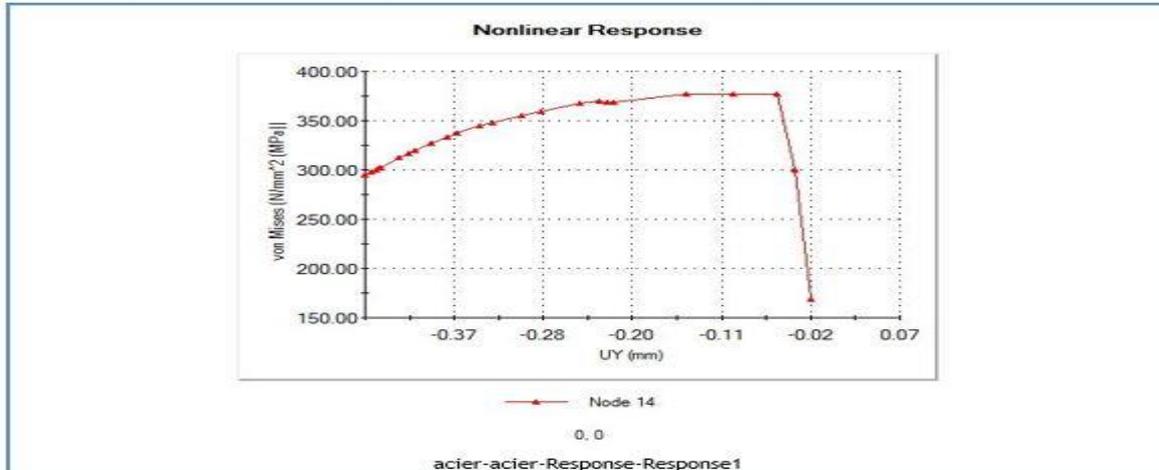


Figure 4.9 : diagramme des contraintes en fonction de la longueur.

#### 4.5.7 Contrainte von Mises en fonction du temps

Cette figure 4.10 montre la variation des contraintes normales en fonction du temps.

On remarque a 0.19 seconde une chute de charge

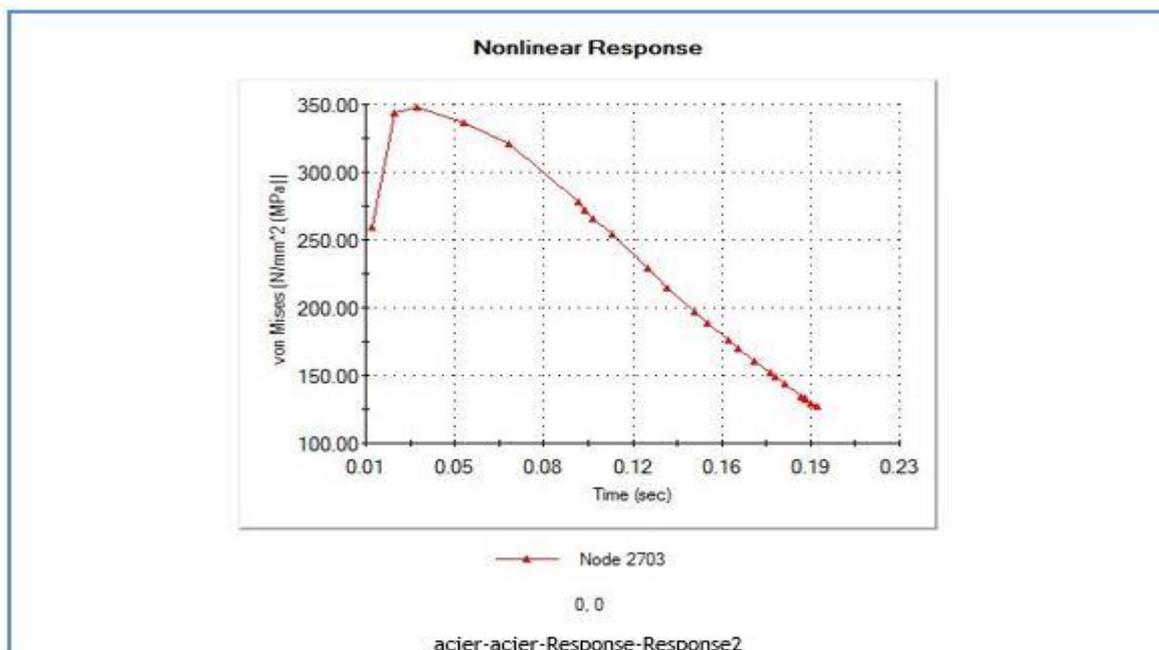


Figure 4.10 : diagramme des contraintes en fonction de temps.

## 4.6 Simulation de brasage tôle cannette

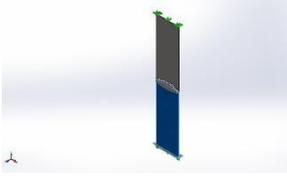
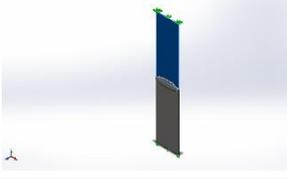
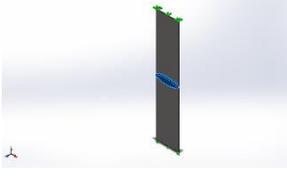
### 4.6.1 Condition aux limites et condition initiale

Les conditions aux limites pour simulation numérique on fixe deux pièce de tôle cannette et appliqué une charge pour déterminer la résistance de rupture



Figure 4.11 : éprouvette tôle cannette.

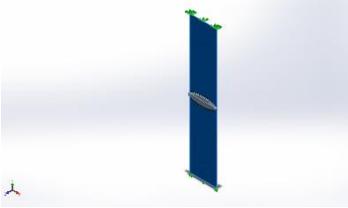
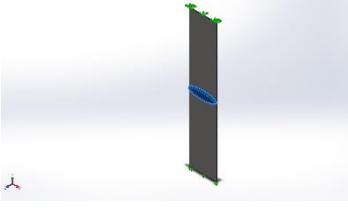
Tableaux 4.7 : condition initiale

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
<b>Boss-Extrude1</b> 	Solid Body	Mass:7.2e-05 kg Volume:9e-09 m <sup>3</sup> Density:8000 kg/m <sup>3</sup> Weight:0.0007056 N	C:\Users\HALL DE TECHNOLOGIE\Desktop\Si mulation Solidworks\Part1.SLDPRT Sep 21 11:07:08 2022
<b>Boss-Extrude1</b> 	Solid Body	Mass:7.2e-05 kg Volume:9e-09 m <sup>3</sup> Density:8000 kg/m <sup>3</sup> Weight:0.0007056 N	C:\Users\HALL DE TECHNOLOGIE\Desktop\Si mulation Solidworks\Part1.SLDPRT Sep 21 11:07:08 2022
<b>Fillet7</b> 	Solid Body	Mass:2.14832e-05 kg Volume:3.20484e-09 m <sup>3</sup> Density:6703.35 kg/m <sup>3</sup> Weight:0.000210535 N	C:\Users\HALL DE TECHNOLOGIE\Desktop\Si mulation Solidworks\Part2.SLDPRT Sep 21 11:07:08 2022

**4.6.2 Propriétés géométriques et physiques des matériaux :**

Ce model compose de deux tôle cannette assembler par étain.

**Tableaux 4.8 :** propriétés des matériaux tôle cannette.

Model Reference	Propertes	Components
	Name: <b>AISI 304</b> Model type: <b>Plasticity - von Mises</b> Default failure criterion: <b>Max von Mises Stress</b> Yield strength: <b>2.06807e+08 N/m^2</b> Elastic modulus: <b>1.9e+11 N/m^2</b> Poisson's ratio: <b>0.29</b> Mass density: <b>8000 kg/m^3</b> Thermal expansion coefficient: <b>1.8e-05 /Kelvin</b>	<b>SolidBody 1(Boss-Extrude1)(Part1-1),</b>  SolidBody 1(Boss-Extrude1)(Part1-2)
	Name: <b>Zinc AC41A Alloy, As Cast</b> Model type: <b>Plasticity - von Mises</b> Default failure criterion: <b>Unknown</b> Yield strength: <b>7.5e+07 N/m^2</b> Elastic modulus: <b>8.5e+10 N/m^2</b> Poisson's ratio: <b>0.3</b> Mass density: <b>6700 kg/m^3</b> Thermal expansion coefficient: <b>2.74e-05 /Kelvin</b>	SolidBody 1(Fillet7)(Part2-1)

**4.6.3 Maillage**

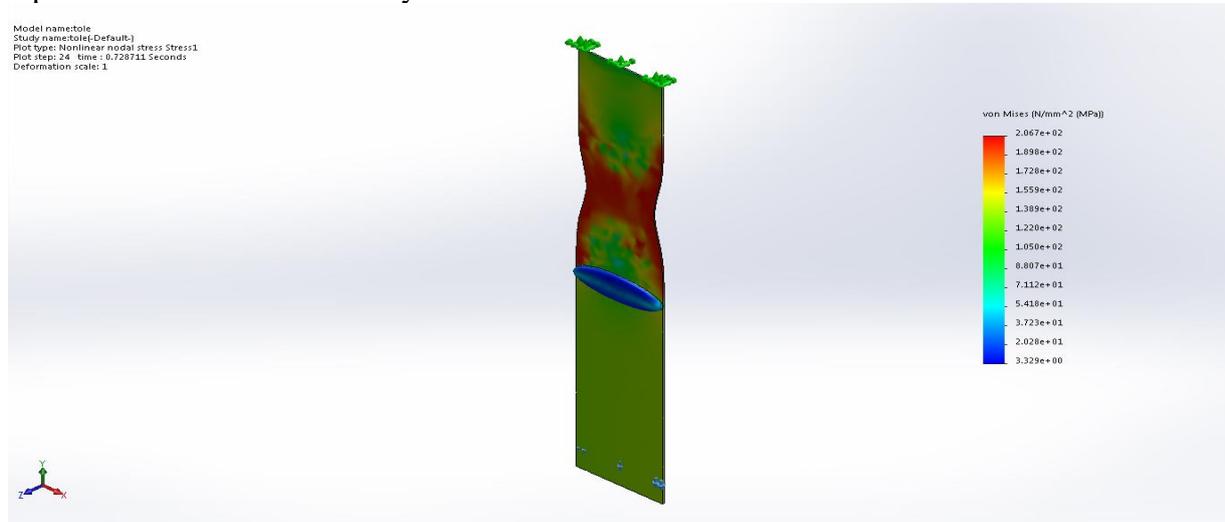
Le choix de la taille de maillage se fait par une simulation le maximum élément 0.811688 mm et Minimum 0.162338 mm



**Figure 4.12 :** maillage.

### 4.6.4 Résultats et interprétations

Après la simulation on va analyser les résultats.



**Figure 4.13** : résultat de simulation de tôle cannette.

**Tableaux 4.9** : résultat de simulation de tôle cannette

Type	Min	Max
VON: von Mises Stress at Step No: 24(0.728711 Seconds	3.329e+00 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Node: 7628	2.067e+02 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Node: 3237

### 4.6.5 Interprétation du brasage tôle cannette

$\sigma_n$  Contrainte de simulation

F force d'essai expérimental

S la section

$$\sigma_n = 206.7 N/mm^2$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{6 \times 0.1} = \frac{F}{0.6}$$

$$\sigma = \frac{152}{0.6} = 253.33 N/mm^2$$

Le résultat de l'essai pratique est relativement le même résultat de simulation.

#### 4.6.6 Contrainte von Mises en fonction du déplacement

Ce figure 4.14 montre la variation des contraintes normales en fonction du déplacement. On remarque à 0.02mm de déplacement une chute de charge et la pièce se déforme.

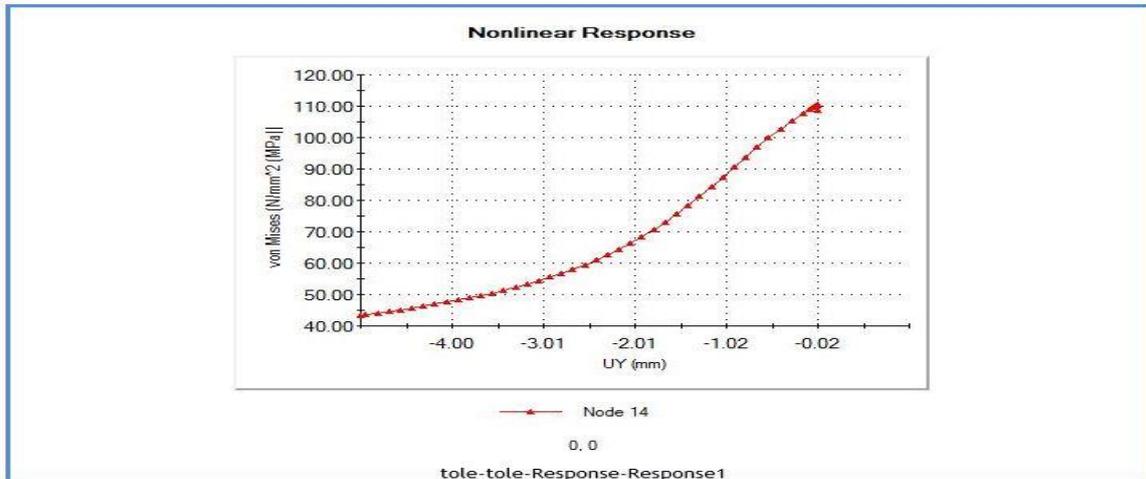


Figure 4.14 : diagramme des contraintes en fonction de l'allongement

#### 4.6.7 Contrainte von Mises en fonction du temps

Ce figure 4.15 montre la variation des contraintes normales en fonction du temps. On remarque a 2 secondes une chute de charge

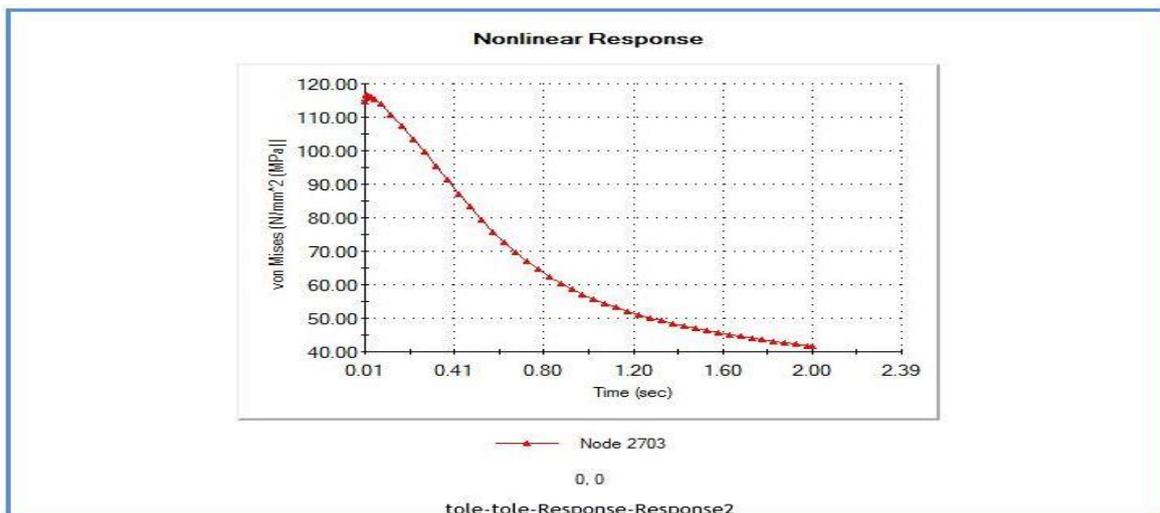


Figure 4.15 : diagramme des contraintes en fonction du temps

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a comparé les valeurs de l'essai expérimental aux valeurs de la simulation par SolidWorks.

## *Conclusion générale*

## Conclusion générale et perspectives

Ce modeste travail consiste à l'étude et la compréhension du comportement mécanique des brasures à l'étain avec les fers à souder sur différentes matières des éprouvettes.

Nous nous sommes limités à la principale propriété mécanique qui est la force de rupture ou la résistance de rupture pour constater l'effet de la brasure à l'étain sur les pièces assemblées.

Le nombre des essais effectués ne permet pas de se prononcer sur la qualité de la soudure, mais il est clair que le nombre ne peut être important, ce qui est important c'est la qualité du joint de soudure et la bonne soudure suivant les facteurs de la réalisation de la bonne brasure. Egalement le cout de revient de ces assemblages est plus en plus moins cher.

La réparation de ces soudures est très simple et rapide utilisée dans tous les appareils électroniques surtout comme téléviseurs, radio, voiture, avion, etc...

Donc en conclusion, on constate que cette étude a révélé des valeurs des forces de rupture plus en moins élevées comme pour le cuivre et l'acier, nous pouvons dire c'est des bonnes soudures qui peuvent durer avec les contraintes environnementales. Par contre pour la tôle cannette les valeurs sont plus en moins petites. L'utilisation des fers à souder de puissance élevée augmente la résistance de rupture.

Avec la simulation, on a trouvé les valeurs entre essais et simulation presque les mêmes, ce qu'on peut conclure que les essais sont corrects avec cette machine traditionnelle.

En perspective, une autre étude peut se faire sur d'autres matériaux pour voir relativement la différence entre les comportements.

## Références Bibliographiques

- [1] Benddeb Mostapha. "Etude les défauts de soudage des pipelines". Mémoire de Master, Université de Biskra.2012
- [2] MEKA–H- 201 Chapitre assemblage et soudage.
- [3] Luc Fairon. "Introduction au soudage" (Ingénieur souder ESSA EWER FR 0466).
- [4] Larbi cherif " Comportement mecanique d'assemblages soudés par point ". Mémoire de Master, Université de Tlemcen 2016.
- [5] <https://www.didel.com/Soudure.pdf>.
- [6] [https://www.universalis.fr/encyclopedie/etain/#i\\_0](https://www.universalis.fr/encyclopedie/etain/#i_0)
- [7] <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00604954/document>
- [8] [TP n°2 : Soudure et Identification des composants/« Maintenance » - Génie Biomédicale - 23/02/2021](#)
- [9] <https://poste-a-souder.ooreka.fr/produit/les-5-meilleurs-fers-a-souder>
- [10] <https://www.mon-fer-a-souder.fr/soudure-etain/>
- [11]<https://www.simulationmateriaux.com/ComportementMecanique/>
- [12] [http://stockage.univ-valenciennes.fr/EcoPEM/BoiteA/co/A\\_3\\_C\\_1.html](http://stockage.univ-valenciennes.fr/EcoPEM/BoiteA/co/A_3_C_1.html)