

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de fin d'études
Pour l'obtention de diplôme de
Master en Construction Mécanique

Titre

**Simulation de l'application de l'essai de traction des alliages
d'aluminium 7075 T6 soudés par le procédé de soudage TIG**

Proposé et encadré par :
Dr N.Melzi
Prof M.Temmar

Etudié par :
H.Slimani

Année universitaire 2024/2025

Résumé

Le soudage est le procédé d'assemblage le plus utilisé de nos jours. Il joue un rôle très important dans tous les secteurs industriels. Parmi les différents types de soudage, on trouve le procédé de soudage TIG.

Dans notre travail, on va utiliser le procédé de soudage TIG pour souder les alliages d'aluminium 7075 T6. Ces alliages sont difficilement soudables du fait de leurs caractéristiques mécaniques.

Pour vérifier la qualité de la soudure, on a utilisé un des essais mécaniques à savoir l'essai de traction et on a utilisé une modélisation de cet essai afin d'évaluer la qualité de la soudure et l'impact de cet essai sur la soudure.

Mots clés : alliages d'aluminium 7075 T6, procédé de soudage TIG, essai de traction.

Abstract

Welding is the most widely used joining process today. It plays a very important role in all industrial sectors. Among the different types of welding, we find the TIG welding process.

In our work, we will use the TIG welding process to weld 7075 T6 aluminum alloys. These alloys are difficult to weld due to their mechanical characteristics.

To verify the quality of the weld, we used one of the mechanical tests, namely the tensile test, and we used a model of this test to evaluate the quality of the weld and its impact on the weld.

Keywords: 7075 T6 aluminum alloys, TIG welding process, tensile test.

ملخص

يُعد اللحام أكثر عمليات اللحام شيوعًا اليوم، وله دور بالغ الأهمية في جميع القطاعات الصناعية. ومن بين أنواع اللحام المختلفة، نجد عملية لحام TIG.

في عملنا، سنستخدم عملية لحام TIG للحام سبائك الألومنيوم 7075 T6. يصعب لحام هذه السبائك نظرًا لخصائصها الميكانيكية.

للتحقق من جودة اللحام، استخدمنا أحد الاختبارات الميكانيكية، وهو اختبار الشد، وقمنا بنمذجة هذا الاختبار لتقييم جودة اللحام وتأثيره عليه.

الكلمات المفتاحية: سبائك الألومنيوم 7075 T6 ، عملية لحام TIG ، اختبار الشد

REMERCIEMENTS

Ce travail de thèse a été réalisé au sein du Département de Mécanique de l'Université Saad Dahlab de Blida 1.

Selon la tradition, et à travers cette page de remerciements, nous tenons à saluer toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la concrétisation de ce travail.

Nous remercions **Docteur Melzi Nesrine** et **Professeur Temmar Mustapha** pour avoir acceptés de diriger ce mémoire, et dont l'aide précieuse nous a été indispensable sur le plan scientifique et humain.

Nous voudrions remercier les membres du jury pour leur précieux temps accordé à la lecture et à la critique de ce travail.

Nos très cordiaux remerciements vont aussi à tous nos enseignants pour tous les efforts conjugués tout au long de notre formation.

الإهداء

في يومٍ لطالما حلمتُما به، أقفُّ اليوم على منصة التخرج، ودمعتي تسبق ابتسامتي. فأبكي وجوهكم عن عيوني،
لكن أرواحكم حاضرة في قلبي، تسكنني بدعواتٍ ما زالت تضيء لي الطريق.

يا أمي، يا من كنت لي دفناً وحناناً، يا من زرعيت في قلبي حب العلم والدعاء، ها أنا اليوم أقطع ثمرة صبرك
وتعبك.

ويا أبي، يا من كنت السند والقُدوة، يا من علمتني أن العزيمة لا تموت، تخرجت كما كنت تتمنى، وسأكمل
طريقي كما كنت ترجو.

رحمكما الله رحمةً واسعة، وجعل هذه اللحظة في ميزان حسناتكما، وألحقني بكما في مستقر رحمته، خير مقبلين
ولا مبدل.

تخرجي هذا... لكم، وفاء لا يموت.

Sommaire

Résumé	I
REMERCIEMENTS.....	II
Sommaire	IV
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VIII
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE 1 : Le procédé de soudage	3
1.1. Introduction :	4
1.2. Généralités :	5
1.3. Description du procédé de soudage :	6
1.3.1. Définition :	6
1.3.2. Caractéristiques de la soudure :	8
1.3.3. Aspects thermiques liés au soudage :	10
1.3.4. Comportement du bain liquide :	10
1.5. Contrôle des soudures :	12
1.6. Principaux procédés de soudage:	12
1.7. Procédé de soudage TIG :	12
1.8. Principe du procédé de soudage TIG:	14
1.9. Caractéristiques du procédé de soudage TIG:	15
1.10. Soudage des alliages d'aluminium :	15
Conclusion :	17
CHAPITRE 2 : Les alliages d'aluminium	18
2.1. Introduction:	19
2.2. Principales caractéristiques de l'aluminium :	21
2.2.1. Propriétés physiques :	21
2.2.2. Propriétés chimiques :	21
2.2.3. Propriétés électriques :	21
2.2.4. Propriétés mécaniques :	21
2.2.5. Propriétés de mise en forme :	22
2.3. Dénomination des alliages d'aluminiums :	23
2.4. Les désignations des états métallurgiques :	23
2.5. Subdivisions de l'état T :	24
2.6. Comparaison des caractéristiques mécaniques des différents alliages d'aluminium :	25

2.7. Soudabilité des alliages d'aluminium :	26
2.8. Les problèmes de soufflures :	26
2.9. Les alliages d'aluminium 7075 T6 :	27
2.9.1. La série 7000 (aluminium zinc) :	27
2.9.1.1. Les alliages 7000 avec cuivre :	27
2.9.1.2. Les alliages 7000 sans cuivre :	27
2.10. Domaine d'utilisation:	27
Conclusion	29
CHAPITRE 3 : Procédures expérimentales	30
3.1. Présentation du matériau utilisé :	31
3.2. Technique de soudage TIG :	31
3.2.1. Préparation des tôles à souder :	32
3.2.2. Principe et paramètres technologiques du soudage TIG :	34
3.2.3. Contrôle des soudures :	36
3.2.3.A. Contrôle avant le soudage :	36
3.2.3.B. Contrôle pendant le soudage :	37
3.2.3.C. Contrôle après le soudage :	37
3. 3. Essai de traction :	37
CHAPITRE 4 : Simulation d'un essai de traction à l'aide de la dynamique explicite dans ANSYS Workbench	43
Introduction	44
Étapes de la simulation dans ANSYS Workbench	45
1.Préparation du modèle	45
2.Définition des propriétés du matériau	46
3.Maillage :	47
4.Application des conditions aux limites:	47
5.Mise en place du contact	48
6.Configuration de la dynamique explicite	48
7.Résultats de simulation et traitement des données pour l'éprouvette mince (2mm)	48
8.Résultats obtenus pour l'éprouvette de 2,5mm	53
9.Interprétation des résultats pour l'éprouvette de 2,5 mm	55
Conclusion	57
CONCLUSIONS GENERALE	58
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE	61
Annexes	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure 1.1: Système vis/écrou utilisé pour les fixations des structures d'avions dont les contraintes sont en cisaillement.....	4
Figure 1.2: Schéma simplifié du gain de masse Rivet et Soudure.....	5
Figure 1.3 : Les différents procédés de soudage.....	7
Figure 1.4: Zones principales d'un cordon de soudure par fusion.....	9
Figure 1.5 : Exemple de manques de pénétration.....	11
Figure 1.6 : Exemple de fissure à froid.....	11
Figure 1.7 : Un poste de procédé de soudage TIG.....	13
Figure 1.8 : Application du procédé de soudage TIG.....	13
Figure 1.9 : Principe de l'application de la torche du procédé de soudage TIG.....	14
Figure 1.10 : Apparition d'une fissure lors du soudage TIG d'un alliage d'aluminium 7075 T6 (épaisseur = 2 mm).....	16
Figure 2.1: Principaux stades et flux dans la fabrication de l'aluminium.....	20
Figure 2.2 : Désignation des alliages d'aluminium.....	23
Figure 2.3: Les différents états de durcissement par précipitation.....	24
Figure 2.4 : Subdivisions de l'état T.....	24
Figure 2.5 : Comparaison des caractéristiques mécaniques des différents alliages d'aluminium.....	25
Figure 2.6: Apparition de soufflures dues à l'alumine (soudage à la limite du collage).	26
Figure 2.7: Exemple d'utilisation des alliages d'aluminium en aéronautique.....	28
Figure 3.1 : Plaque brute d'aluminium 7075 T6 (épaisseur = 2 mm).....	31
19 Figure 3.2 : Préparation des échantillons avant le soudage.....	32
Figure 3.3 : Plaque d'aluminium 7075 T6 prête pour le soudage (épaisseur = 2,5 mm).....	34
Figure 3.4 : Premières étapes du procédé de soudage TIG.....	34
Figure 3.5 : Apparition d'une fissure dans l'échantillon (épaisseur = 2 mm) lors de l'utilisation d'un ampérage de 140 A.....	35
Figure 3.6 : Schéma du procédé de soudage.....	35
Figure 3.7 : Plaques soudées (épaisseur = 2.5 mm).....	36
Figure 3.8 : Machine de traction de marque Instron.....	39
Figure 3.10 : Les différentes étapes de l'essai de traction d'une éprouvette.....	40
Figure 3.11 : Essai de traction sur une éprouvette avec une intensité de 100 A (épaisseur = 2mm).....	41
28 Figure 3.12 : Essai de traction sur une éprouvette avec une intensité de 100 A (épaisseur = 2,5mm).....	41
29 Figure 4.1: éprouvette soudée.....	45
30 Figure 4.2 : Importation de la géométrie dans ANSYS.....	46
31 Figure 4.3 : génération de maillage.....	47
32 Figure 4.4 : Application des conditions aux limites.....	47
33 Figure 4.5 : gestion de contact.....	48
34 Figure 4.6 : distribution des contraintes de Von Mises.....	49
Figure 4.7 : variation des contraintes de Von Mises.....	50
Figure 4.8 : la déformation élastique équivalente.....	50
Figure 4.9 : variation de la déformation élastique équivalente.....	51
Figure 4.10 : la déformation élastique équivalente.....	51
Figure 4.11 : variation de la déformation élastique équivalente.....	52
Figure 4.12 : distribution de la déformation élastique équivalente.....	53
Figure 4.13 : courbe de déformation élastique équivalente.....	53

Figure 4.14 : distribution de la contrainte équivalente de Von Mises	54
Figure 4.15 : courbe de la contrainte équivalente de Von Mises	54
Figure 4.16 : les déplacements totaux	55
Figure 4.17: courbe des déplacements totaux	55

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Désignation des alliages d'aluminium	19
Tableau 2.2 : Propriétés mécaniques typiques de quelques métaux.....	22
Tableau 2.3 : Comparaison entre les alliages d'aluminium et d'autres matériaux subissant les mêmes sollicitations (flambage).....	28
Tableau 3.1: Composition chimique (%) des échantillons d'alliage d'aluminium 7075 T6.....	31
Tableau 3.2 : Type de préparation du joint avant le procédé de soudage TIG	33
Tableau 3.3 : Paramètres de soudage	35
Tableau 4.1 : caractéristiques physiques de l'alliage d'aluminium 7075 T6.....	46
tableau 4.2 : Comparaison entre les éprouvettes en aluminium 7075-T6 (2 mm et 2,5 mm)	56

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans le cadre de notre étude, nous allons souder les alliages d'aluminium 7075 T6 par le procédé de soudage TIG. Ces alliages possèdent de bonnes caractéristiques mécaniques et sont difficiles à souder. Leurs utilisations dans le domaine de l'industrie aéronautique sont de plus en plus fréquentes, car actuellement, les constructeurs apprécient ces alliages pour leur légèreté, leurs qualités mécaniques et leur caractère écologique. La haute qualité de surface, une fois décapée ou anodisée, leur donne un atout supplémentaire.

Après le processus de soudage TIG de notre matériau, nous allons utiliser un des essais mécaniques à savoir l'essai de traction. Le but est d'évaluer la qualité de la soudure, d'étudier l'interaction entre le matériau et le procédé de soudage. Cet essai consiste à soumettre une éprouvette à une sollicitation axiale croissante jusqu'à la rupture, afin d'étudier sa réponse mécanique.

Plan de travail :

Notre travail se divise en quatre chapitres :

Dans le chapitre I, une recherche bibliographique introduira les notions nécessaires sur les alliages d'aluminium en général et sur les alliages d'aluminium 7075 T6 en particulier.

Le chapitre II sera consacré au procédé de soudage en général, le procédé de soudage TIG en particulier et le soudage des alliages d'aluminium 7075 T6 par ce dernier procédé.

Dans le chapitre III, nous exposerons la partie expérimentale de notre travail. Elle concernera l'application du soudage par le procédé TIG de notre matériau, et de l'application d'un essai mécanique. Cet essai mécanique, l'essai de traction, aura pour but d'évaluer la qualité de la soudure.

Le chapitre IV sera consacré à la présentation, l'interprétation et la discussion des résultats expérimentaux obtenus à travers les différentes expériences. Nous nous intéresserons à appliquer un modèle de simulation de l'impact de l'essai de traction sur la soudure.

Le tout sera résumé par les principaux résultats de notre étude.

CHAPITRE 1 :

Le procédé de soudage

1.1. Introduction :

En fabrication mécanique et dans le domaine des assemblages aéronautiques, les fixations doivent remplir cinq fonctions principales :

- Transmettre des sollicitations mécaniques,
- Maintenir l'intégrité de l'assemblage vis-à-vis de la corrosion,
- Transmettre des courants de métallisation de foudre,
- Assurer l'étanchéité en zone de réservoir,
- Rendre la maintenance aussi aisée que possible.

Le rivetage et le boulonnage représentent les principaux systèmes d'assemblages :

- Les rivets permettent la fixation de pièces minces (jonctions de fuselage ou fixations de raidisseurs) et sont réservés aux endroits où les efforts en cisaillement sont peu élevés,
- Les boulons constituent la plus grande partie des fixations des structures des avions.

Plusieurs types de boulons sont utilisés en fonction des propriétés désirées.

Un exemple de ce type d'assemblage est représenté dans la figure 2.1 :

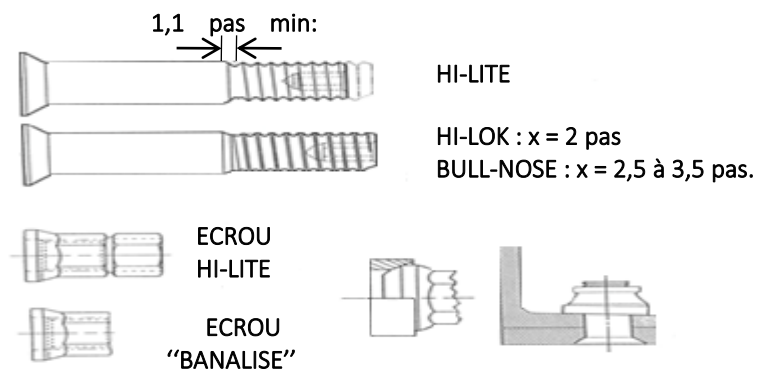
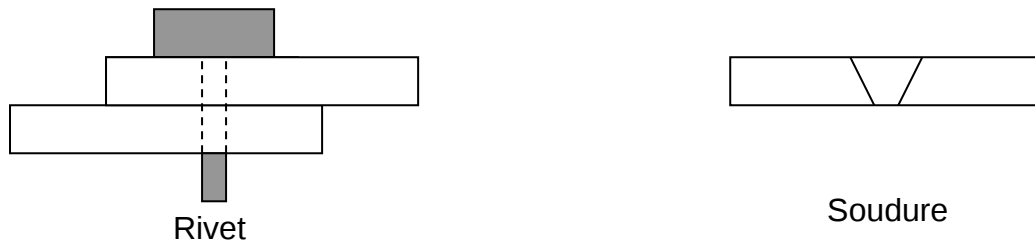


Figure 1.1: Système vis/écrou utilisé pour les fixations des structures d'avions dont les contraintes sont en cisaillement

Lors de leur utilisation, ces procédés présentent des discontinuités physiques ou chimiques, et alors le procédé de soudage devient une technique d'assemblage concurrente. Ce changement de procédé constitue un enjeu financier important car en entraînant la réduction considérable de masse (figure 1.2), donc de consommation de carburant, il diminue le coût d'exploitation.



Avec:

 = Masse supplémentaire

Figure 1.2: Schéma simplifié du gain de masse Rivet et Soudure

Actuellement, ce procédé de soudage occupe une place prépondérante dans la construction des avions, fusées,... La solution des problèmes rencontrés lors d'une opération de soudage relève de la fonction du soudeur ou du constructeur-soudeur dont les démarches doivent inclure, outre l'opération de soudage, les énigmes à résoudre en amont et en aval de celle-ci, et constituées par :

- La conception des assemblages soudés: découpage de l'assemblage et disposition des joints,
- La préparation des pièces avant soudage: géométrie des bords, état de surface,
- La mesure de la qualité des soudures et de la tenue de l'assemblage en service.

Cette démarche s'appuie sur les caractéristiques du procédé de soudage le plus adapté qui induit la forme de la soudure et le résultat obtenu.

1.2. Généralités :

Les pièces mécaniques (appareils, machines,) sont réalisées par différents procédés : moulage, **assemblage**, formage (laminage, forgeage, estampage, ...) ou usinage (coupe des métaux). L'usinage se fait avec ou sans enlèvement de matière.

L'usinage ou coupe des métaux est une opération de mise en forme d'une pièce par enlèvement de matière. Il consiste aussi à utiliser certains procédés qui ont chacun un champ d'application bien déterminé.

1.3. Description du procédé de soudage :

1.3.1. Définition :

Le soudage est une opération qui assemble deux éléments métalliques, par fusion et re-solidification. Il permet d'assurer la continuité mécanique entre les parties à assembler avec ou sans l'aide d'un produit d'apport réalisant un meilleur lien entre les pièces. Dans le cas de l'utilisation d'un métal d'apport, ce composé doit avoir des propriétés au moins égales à celle des matériaux à assembler et une température de fusion du même ordre de grandeur que ces matériaux.

Le soudage est également une opération de micro-métallurgie consistant à exécuter un cordon fondu liant les bords de deux pièces; on le dit homogène quand ces deux pièces, ainsi que l'état du métal d'apport du joint, ont une composition chimique identique ou voisine, et hétérogène dans les autres cas. Il constitue un moyen privilégié d'assemblage pour toute construction faisant intervenir des matériaux métalliques. Son but est d'assurer la continuité de la matière à assembler. Dans le cas des métaux, cette continuité est réalisée à l'échelle de l'édifice atomique.

Les assemblages soudés se distinguent des assemblages boulonnés, rivetés, agrafés, par la continuité qu'ils assurent et l'absence de possibilité de jeu. Ils sont probablement les plus utilisés, autant en grande série (carrosserie...) qu'en pièce unitaire (cuve de centrale) et nécessitent un apport de chaleur.

Les avantages de ces assemblages sont :

- Une excellente rigidité de liaison obtenue par des joints peu encombrants et économiques,
- Une étanchéité parfaite et permanente.

Les assemblages soudés sont généralement obtenus par action d'un chauffage local intense dont les conséquences sont doubles :

1. **Conséquences métallurgiques** (liées à la nature du matériau à assembler et au mode de soudage adopté) : L'opération de soudage entraîne par son apport énergétique et parfois par l'apport de métal, des modifications métallurgiques au niveau du joint soudé. Celles-ci vont affecter les microstructures de la zone fondue et des zones affectées thermiquement.

Aussi, le joint soudé est soumis à diverses problématiques résultant de ces modifications :

- Fragilisation par l'hydrogène : phénomène de fissuration à froid,

Apparition de fissuration à chaud (liquation) en cours de solidification : retassures, fissuration intergranulaire, Tenue à la corrosion différente du métal de base : essentiellement due aux phénomènes de ségrégation.

2. Conséquences géométriques et mécaniques.

Les modifications métallurgiques impactent la tenue mécanique du joint soudé. Aussi, il faut s'assurer d'obtenir une tenue mécanique suffisante et tenir compte des soudures dans le calcul et le dimensionnement des pièces. Les défauts géométriques des cordons de soudure jouent un grand rôle dans la tenue à la fatigue des assemblages soudés.

Les procédés de soudage, comme le montre la figure 2.3, sont nombreux et le plus souvent dépendant les uns des autres. La grande variété de ces procédés de soudage existants peut être classée en fonction de la nature des énergies mise en œuvre.

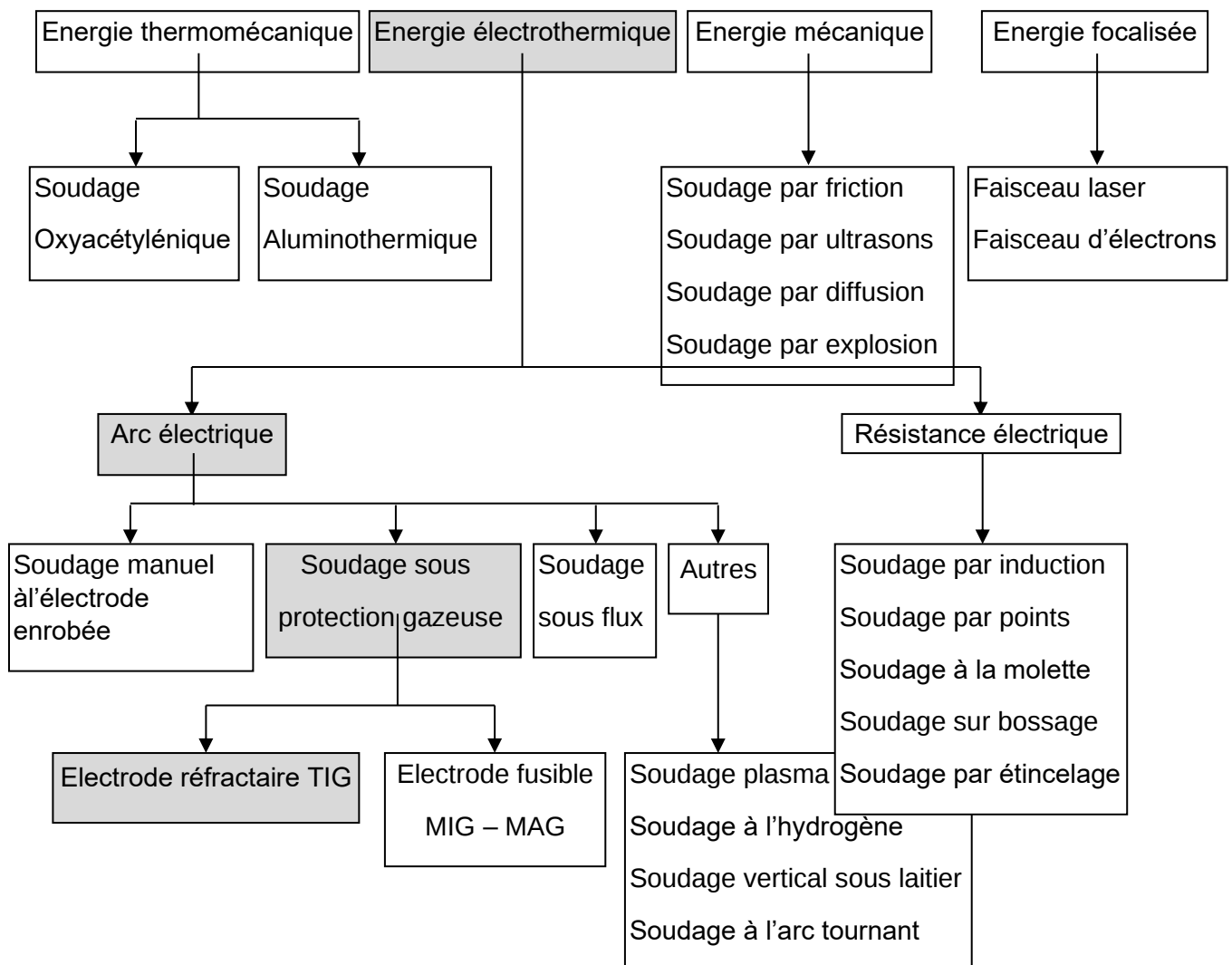


Figure 1.3 : Les différents procédés de soudage

Les procédés de soudage par fusion sont de plus en plus utilisés dans la construction des avions civils et militaires.

1.3.2. Caractéristiques de la soudure :

Le soudage permet d'assembler de façon permanente deux ou plusieurs éléments, tout en assurant entre eux la continuité de la matière.

On distingue le soudage autogène et le brasage ou soudo-brasage.

- **Soudage autogène:** les pièces à assembler, de même nature ou de composition voisine, participent à la constitution du joint ou de cordon de soudure. L'assemblage est dit homogène, c'est à dire « fait du même métal »,
- **Brasage et soudo-brasage :** l'assemblage est hétérogène ; la formation du joint ou cordon est assurée par la seule intervention du métal d'apport qui agit comme une colle. La température de fusion du métal d'apport est inférieure à celle des matériaux à souder qui peuvent être de nature différente.

Après la préparation des éléments à assembler et l'utilisation du soudage, on obtient après solidification, un joint homogène de même composition que le métal de base (soudage autogène) ou un joint hétérogène dans le cas des métaux différents (brasage ou soudo-brasage).

Le procédé de soudage par fusion permet de décrire la structure typique d'un alliage qui est composée de quatre (04) zones principales :

- Le métal de base,
- La zone affectée thermiquement,
- La zone de liaison,
- La zone fondue.

Le métal de base ne subit ni déformation, ni modification structurale, ni échauffement important grâce à son éloignement de la zone soudée ; il conserve ses propriétés et microstructures d'origine. Bien que métallurgiquement inchangé, le métal de base, ainsi que le joint de soudure global, sont des lieux de concentration des contraintes résiduelles transversales et longitudinales dépendant du degré du rétreint imposé à la soudure.

La zone affectée thermiquement (ZAT) est la zone où la température est comprise entre le solidus et une température plus basse (entre 150 °C et 350°C) mais qui reste suffisamment

élevée pour permettre des réactions ou des transformations à l'état solide, et pour modifier la structure du métal de base. Sa texture granulaire est identique à celle du métal de base. Cependant la population de dislocations et l'état de précipitation peuvent changer. Pour le cas des alliages d'aluminium 7075 T6, la précipitation durcissante initiale devient plus grossière, entraînant une chute de la dureté.

La zone fondue (ZF) est la région chauffée au-dessus de la température du liquidus. La structure du métal de base initiale est changée par les processus de fusion et de solidification. La composition peut également varier par évaporation de certains éléments de l'alliage. Un mélange complet des éléments est obtenu par les mouvements de convection forcée. La zone étroite à l'extrémité du bain de fusion représente la zone " non mélangée " : dans cette zone les forces de convection étant inférieures aux forces de friction des fluides, la composition chimique reste identique à celle du métal de base. Même si cette zone est présente dans toutes les soudures, elle n'est facilement visible que dans les soudures utilisant un métal d'apport de composition chimique différente du métal de base. Le bain de fusion est délimité par l'interface de soudure qui concerne la surface formant clairement la frontière entre le métal de base non fusionné et le métal de la soudure solidifiée.

Directement adjacente à l'interface de soudure, se trouve une zone de fusion partielle (ZFP). Le cycle thermique de soudage s'opère dans cette zone à des températures comprises entre le liquidus et le solidus de l'alliage. Dans certains alliages contenant des inclusions et des impuretés à bas points de fusion, ou de ségrégations d'éléments d'alliages aux joints de grain, la liquation de ces régions microscopiques peut se produire et s'étendre de l'interface de soudure à l'intérieur de la zone de fusion partielle.

Ces zones sont représentées dans la figure 1.4 :

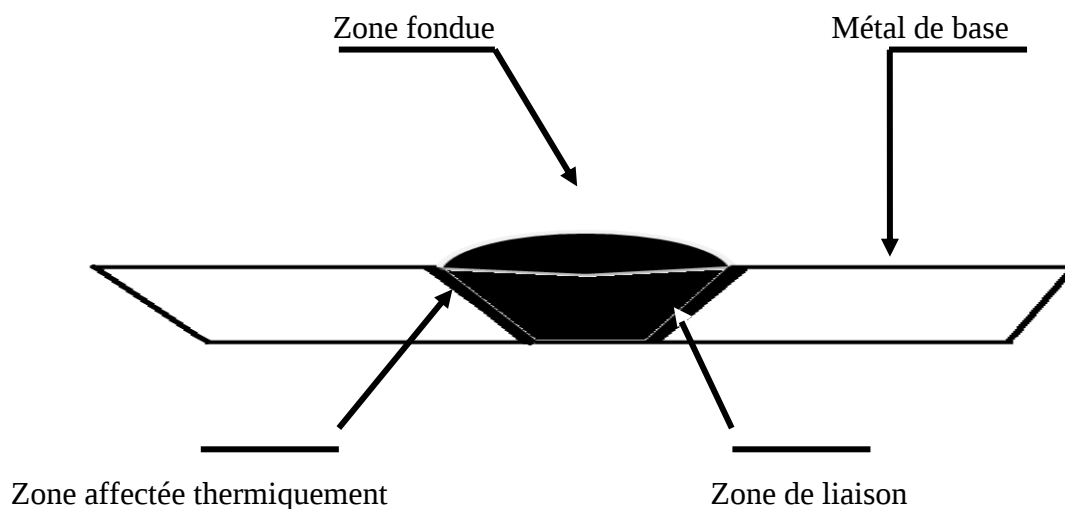


Figure 1.4: Zones principales d'un cordon de soudure par fusion

1.3.3. Aspects thermiques liés au soudage :

En dépit de leur grande diversité, les procédés de soudage ont pour caractéristique commune la localisation de l'apport de la chaleur. Ce phénomène se traduit par un passage bref à très haute température d'une petite quantité de matière suivi d'un refroidissement, essentiellement par conduction dans les parties adjacentes qui sont :

- Le métal avoisinant plus froid,
- Les éléments de bridage,
- Les électrodes (dans le cas du soudage par points).

1.3.4. Comportement du bain liquide :

Lors du procédé de soudage TIG, la répartition de l'énergie dans l'arc doit se faire d'une manière permettant de contrôler la géométrie du bain de fusion. Cette énergie, nécessaire à la fusion du métal, contrôle la vitesse de refroidissement. La vitesse de soudage régit directement la vitesse de croissance du front de solidification et également la forme du bain de fusion. Ce dernier est le siège de processus thermophysiques très complexes mettant en application des phénomènes thermiques, convectifs, chimiques et électromagnétiques interdépendants. Ce processus est régi par des forces aux effets variables et ayant des origines différentes qui sont regroupées en deux catégories :

- Influence sur la pression, le rendement et la répartition spatiale dans l'arc,
- Influence sur la convection du métal liquide : les forces de gravité, les tensions superficielles (force de Marangoni) en surface et les forces électromagnétiques (forces de Lorentz).

1.4. Les principaux défauts de soudage :

En utilisant le procédé de soudage, on peut rencontrer plusieurs défauts. La norme NF EN 26520, correspondant à la classification des défauts dans les soudures par fusion des métaux, permet d'énumérer et de classer les défauts en fonction de leur géométrie, de leur position dans la soudure et de leur origine.

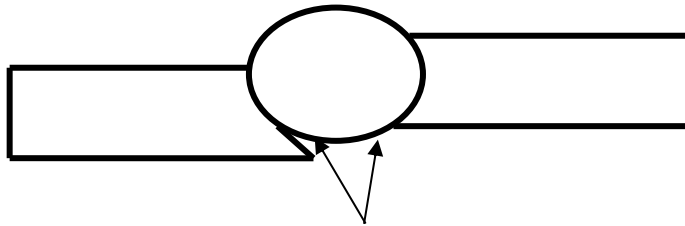
Ces défauts peuvent être classés en deux catégories. La première d'origine purement opératoire regroupe :

- Les caniveaux (internes ou externes),
- Le manque et l'excès de pénétration,

- Le manque de fusion (collage),
- Le défaut d'alignement,
- La déformation angulaire,
- Etc...,

La figure 1.5 représente un exemple de manque de pénétration :

Dénivellation



Manques de pénétration

Figure 1.5 : Exemple de manques de pénétration

La seconde regroupe les défauts internes :

- Les différentes fissures (à chaud, à froid, au réchauffage),
- Les porosités.

La figure 1.6 représente un exemple de manque de pénétration :

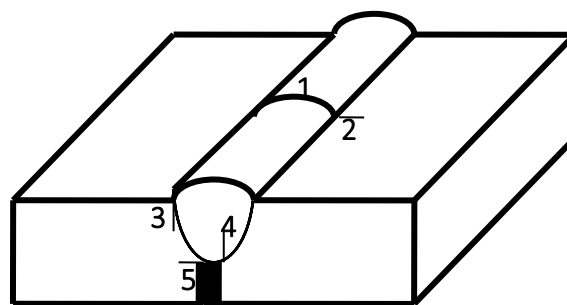


Figure 1.6 : Exemple de fissure à froid

Avec :

1 = Fissures transversales dans la zone fondue

2 = Fissures transversales dans la zone affectée thermiquement

3 = Fissures dans la zone de liaison

4 = Fissures dans la zone fondue

5 = Fissures à la racine

Dans le cas de notre alliage d'aluminium 7075 T6, et lors de l'application du procédé de soudage TIG, l'un des défauts qui apparaît fréquemment est celui des fissures à chaud, du fait des vitesses de solidification élevées et aussi de l'absence du métal d'apport. Elles sont nommées fissures à chaud lorsqu'elles apparaissent à la fin de la solidification. Ces fissures à chaud sont débouchâtes, non débouchâtes et de petites dimensions. Un autre défaut est que l'aluminium est sensible à la porosité due à l'hydrogène.

1.5. Contrôle des soudures :

On utilise des contrôles non destructifs afin de détecter les défauts pouvant apparaître lors du soudage. Ceux-ci sont de petites dimensions. Vu l'exécution rapide des soudures, l'utilisation des contrôles rapides est exigée et appliquée de la manière suivante :

- Hors ligne (visuel, radiographie, ultrasons, courant de Foucault,...),
- En ligne (analyse du plasma, thermographie infrarouge, visuel par caméra,...).

Les contrôles destructifs comme la métallographie sont longs et permettent de détecter certains défauts de soudage comme les fissures et le manque de pénétration. Ils ne préjugent pas de la qualité globale de l'assemblage.

1.6. Principaux procédés de soudage:

Les procédés de soudage sont multiples et le plus souvent complémentaires. Le soudage au chalumeau est recommandé pour les travaux délicats. Sa mise en œuvre est simple à l'atelier ou sur un chantier. Le chalumeau oxyacétylénique est préconisé pour le brasage et le soudobrasage.

1.7. Procédé de soudage TIG :

Parmi les procédés de soudage, on retrouve le soudage à l'arc électrique. Ce soudage est le plus utilisé industriellement en soudage autogène. La fusion, très localisée, entraîne moins de déformation que le chalumeau et une plus grande productivité. Son inconvénient est un refroidissement rapide, générateur de contraintes internes et de déformations parfois difficiles à corriger.

Parmi les techniques de ce soudage, on peut citer le soudage TIG.

Le soudage TIG (Tungstène InertGas, GTAW GasTungsten Arc Welding selon les normes américaines ou encore procédé 141 selon l'ISOP 4063) utilise une électrode réfractaire.

Tungsten (Tungstène) désigne l'électrode et les mots InertGas (Gaz inerte) désignent le type de gaz plasmagène utilisé.

Les figures suivantes représentent respectivement un poste de procédé de soudage TIG et une de ses applications au Centre National de Recherche en Soudage et Contrôle de Cheraga (Alger).



Figure 1.7 : Un poste de procédé de soudage TIG



Figure 1.8 : Application du procédé de soudage TIG

1.8. Principe du procédé de soudage TIG:

Le procédé de soudage TIG est habituellement appliqué pour les tôles ayant une épaisseur inférieure à 10 MM. Au-delà, il est exigé un nombre de passes important, le rendant ainsi non économique. Pour les petites épaisseurs, il permet de réaliser des joints en bout à bout, sans métal d'apport. Pour des épaisseurs importantes (généralement supérieures à 3 mm), les tôles nécessitent des préparations de bords (chanfreins) et du métal d'apport. Il faut impérativement éviter que l'électrode ne touche le bain de fusion pour éviter toute absorption de tungstène. Un arc électrique est établi à l'extrémité d'une électrode réfractaire ou non fusible en tungstène. Le métal d'apport est apporté manuellement (baguette) ou automatiquement (fil déroulé). C'est un procédé de soudage à l'arc avec une électrode non fusible. L'arc se crée entre l'électrode réfractaire (- du générateur) et la pièce (+ du générateur) sous un flux gazeux. D'une manière générale, il s'agit d'un gaz ou d'un mélange de gaz rares. L'amorçage se fait grâce au gaz circulant dans la buse qui entoure une grande partie de l'électrode.

Le soudage s'effectue en polarité directe (pôle du générateur relié à l'électrode) pour la majorité des métaux et alliages (aciers, inox, cuivreux, titane, nickel,...) sauf dans les alliages légers d'aluminium ou de magnésium où l'on soude en polarité alternée (pendant un temps court, l'électrode est reliée au pôle + du générateur). Il est important de noter que souder de façon continue en polarité inverse (pôle + relié à l'électrode) entraîne une destruction de l'électrode, en la faisant fondre.

Le principe de l'application de la torche du procédé de soudage TIG est représenté dans la figure 1.9.

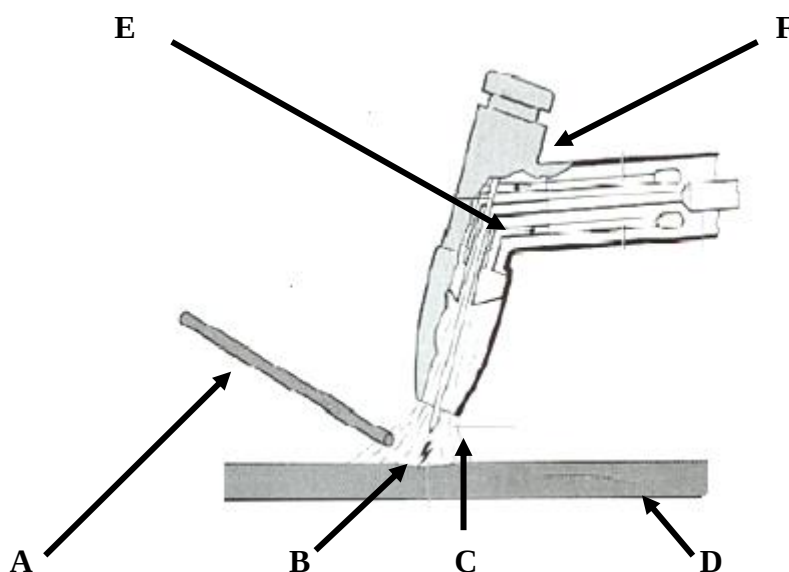


Figure 1.9 : Principe de l'application de la torche du procédé de soudage TIG

Avec :

A = Métal d'apport

B = Arc électrique

C = Métal en fusion

D = Métal de base

E = Electrode de tungstène

F = Torche

Les formes des électrodes pour ce procédé de soudage TIG dépendent du type de courant utilisé, à savoir le courant continu électrode positive, le courant continu électrode négative et le courant alternatif.

1.9. Caractéristiques du procédé de soudage TIG:

En pratique, le procédé de soudage TIG permet de grandes vitesses de soudage et produit des soudures de bonne qualité et de bel aspect. L'intensité et la vitesse de soudage sont les paramètres les plus importants à contrôler car ils sont directement liés à la profondeur de pénétration, à la largeur du bain de fusion, et à la qualité du joint soudé. L'intensité affecte également la tension si la longueur de l'arc (distance entre la pointe de l'électrode et le matériau à souder) est fixée.

1.10. Soudage des alliages d'aluminium :

La notion de soudabilité des alliages d'aluminium n'est pas liée, comme sur les aciers au carbone, au problème de transformation de phase. Cette dernière, qui couplée avec l'hydrogène dissout et prend contact avec les contraintes mécaniques, peut conduire à une fragilité de la soudure. Les alliages d'aluminium de la série 7000, sont sensibles à l'énergie de soudage. Celle-ci doit être très réduite afin de minimiser la refusion de la phase intergranulaire (phénomène de brulure).

L'application de mauvais paramètres lors du procédé de soudage peut engendrer des défauts de soudage comme le montre la figure suivante :



Figure 1.10 : Apparition d'une fissure lors du soudage TIG d'un alliage d'aluminium 7075 T6 (épaisseur = 2 mm)

Conclusion :

Le soudage s'impose aujourd'hui comme une solution d'assemblage incontournable, notamment dans les domaines exigeants tels que l'aéronautique. Il offre une alternative efficace aux procédés traditionnels comme le rivetage ou le boulonnage, en permettant une réduction significative de la masse et une continuité parfaite de la matière.

Ce chapitre a permis de présenter les fondements du procédé de soudage, ses différentes formes, ainsi que les zones affectées par la chaleur lors d'une opération de fusion. Il a également mis en lumière les nombreux avantages de cette technique, tout en exposant les défauts possibles, tels que les fissures à chaud ou les porosités, notamment dans les alliages d'aluminium de la série 7000.

Le soudage TIG, en particulier, s'avère être un procédé de choix pour les matériaux de faible épaisseur grâce à sa précision et à la qualité des soudures obtenues. Toutefois, sa mise en œuvre nécessite une maîtrise rigoureuse des paramètres pour éviter les défauts critiques, surtout avec des alliages sensibles comme le 7075-T6.

En somme, la compréhension approfondie du procédé de soudage, de ses paramètres et de ses effets métallurgiques constitue un préalable essentiel pour garantir la qualité et la fiabilité des assemblages soudés.

CHAPITRE 2 :

Les alliages d'aluminium

2.1. Introduction:

Afin d'améliorer les propriétés mécaniques de l'aluminium pur, des éléments d'alliages lui sont ajoutés au cours de son élaboration. Les éléments les plus couramment utilisés sont le cuivre, le manganèse, le silicium, le zinc, le magnésium et le lithium.

Les différents alliages obtenus peuvent être répertoriés en sept classes (plus communément appelées « séries ») répartissant les alliages selon l'élément principal d'addition.

Les alliages d'aluminium peuvent être répartis dans sept différentes séries:

Tableau 2.1 : Désignation des alliages d'aluminium

Série	Eléments d'alliage principal
1000	Aluminium pur
2000	Alliage aluminium - cuivre
3000	Alliage aluminium - manganèse
4000	Alliage aluminium - silicium
5000	Alliage aluminium - magnésium
6000	Alliage aluminium - magnésium et silicium
7000	Alliage aluminium - zinc

Les propriétés métallurgiques de l'alliage obtenues sont fonction de l'élément d'addition. On peut alors classer ces alliages dans deux différentes catégories, les alliages dits trempant (ou durcissables par précipitation) et non trempant (ou à durcissement par écrouissage).

Les principaux stades et flux dans la fabrication de l'aluminium sont représentés dans la figure 2.1:

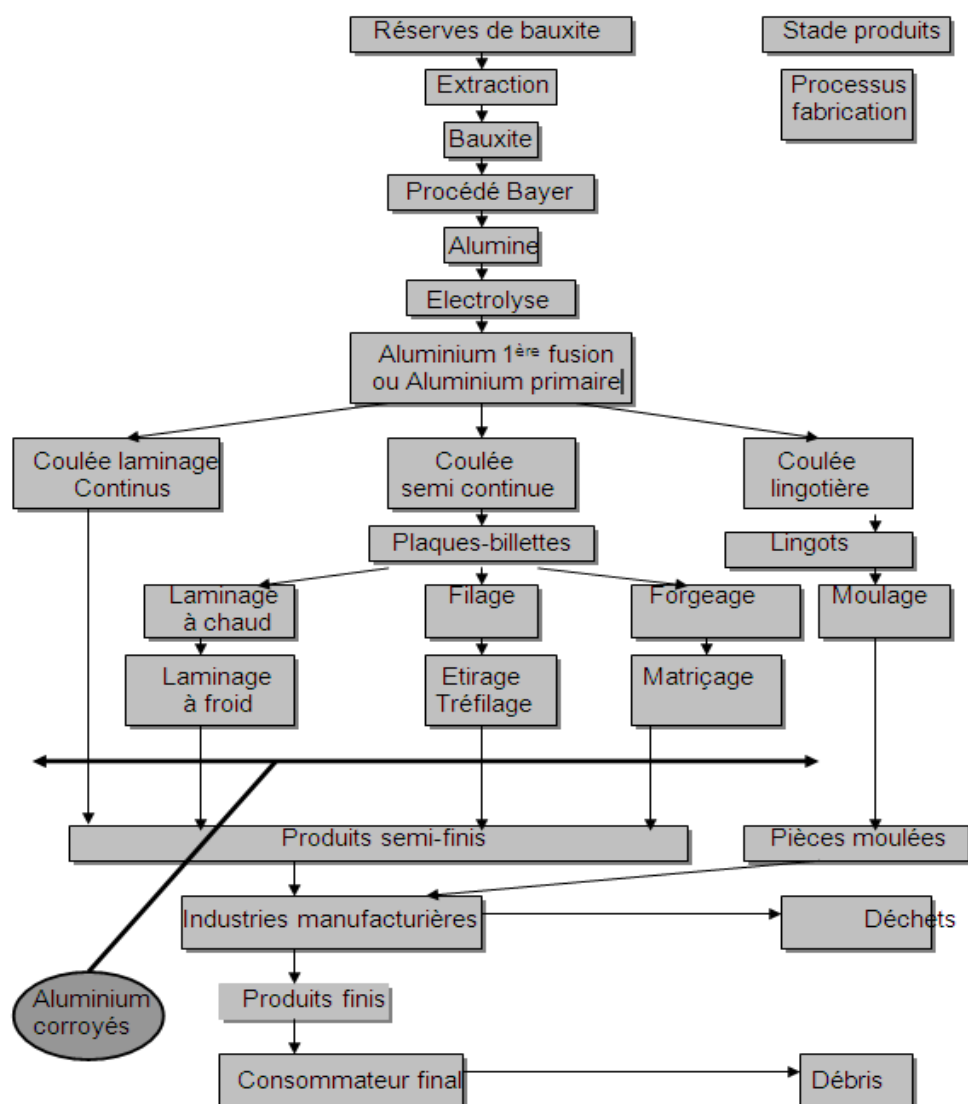


Figure 2.1: Principaux stades et flux dans la fabrication de l'aluminium

L'aluminium représente le troisième élément de l'écorce terrestre en quantité, après l'oxygène et le silicium. Ce métal est connu depuis le début du 19^{ème} siècle, et fut longtemps considéré comme un métal précieux en raison de la difficulté de réduction de l'oxyde d'aluminium, forme sous laquelle il est présent dans la nature. C'est en 1886 que Héroult en France et Hall aux Etats-Unis découvrirent simultanément le procédé d'électrolyse de l'oxyde d'aluminium dissous dans un bain de cryolithe en fusion.

Cette découverte a permis le développement de l'aluminium, devenu aujourd'hui le principal métal non ferreux industriel.

En tonnage, la production d'aluminium ne représente que 2% environ de celle des aciers. Cependant, ce métal et ses alliages occupent la seconde position dans l'utilisation des matériaux métalliques.

L'aluminium doit cette place à un ensemble de propriétés qui en font un matériau remarquable.

2.2. Principales caractéristiques de l'aluminium :

2.2.1. Propriétés physiques :

Grâce à sa masse volumique qui est de $2\,700\text{ Kg/m}^3$, son utilisation s'impose dans les domaines de la construction aéronautique et du transport. Sa conductivité thermique, λ , est égale à 222 W/m.K .

2.2.2. Propriétés chimiques :

Grâce à la couche d'oxyde qui se forme en surface, les alliages d'aluminium résistent à la corrosion. Cette couche protectrice d'oxyde est rendue plus épaisse par anodisation. Ainsi, les alliages d'aluminium peuvent alors être utilisés sans protection supplémentaire comme revêtements extérieurs de bâtiments.

2.2.3. Propriétés électriques :

L'aluminium possède une bonne conductivité. Sa résistivité, ρ , est de l'ordre de $2,810^{-8}\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ et son coefficient de température égal à $4,30\text{ }10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

La conductibilité électrique de l'aluminium commercialement pur atteint 62% de celle du cuivre. Cependant, la masse volumique du cuivre est plus élevée que celle de l'aluminium.

Un conducteur en aluminium, dont la masse volumique est inférieure à celle d'un conducteur en cuivre, s'échauffe moins.

2.2.4. Propriétés mécaniques :

L'aluminium, commercialement pur et ayant une faible résistance à la rupture, possède à l'état recuit des propriétés mécaniques faibles. On peut tout fois améliorer considérablement ces propriétés par l'écrouissage, l'addition d'éléments d'alliage ou les traitements thermiques, selon les cas.

L'aluminium et ses alliages ont une structure cristalline cubique à faces centrées. Ils font donc preuve, à l'état recuit, d'une excellente ductilité à toute température.

Tableau 2.2 : Propriétés mécaniques typiques de quelques métaux

Alliage métallique	Limite conventionnelle D'élasticité (MPa)	Resistance à la traction (MPa)	Allongement à la rupture (A%)
Acier (1020)	180	380	25
Aluminium	35	90	40
Cuivre	69	200	45

2.2.5. Propriétés de mise en forme :

L'aluminium a une température de fusion relativement basse, d'environ 660°C. Il en résulte une facilité de fusion qui représente un avantage certain pour les opérations de fonderie.

L'aluminium est très ductile. On peut aisément le mettre en forme à l'état solide, par déformation plastique.

Ce matériau peut être mis en forme soit par corroyage, soit par fonderie.

On peut lui faire subir :

- A froid : laminage, filage, pliage,...
- A chaud : moulage, soudage,
- usinage,...

Les sept séries définies peuvent être réparties dans deux catégories :

- Les alliages trempant : Séries 2000, 6000, 7000,
- Les alliages non-trempant : Séries 1000, 3000, 4000, 5000.

Dans ces deux catégories, il est possible d'améliorer les propriétés mécaniques de l'alliage, mais la procédure opératoire n'est pas identique. Cette différence provient de l'élément d'alliage qui lui est incorporé, de sa solubilité dans l'aluminium à l'état solide et du pouvoir durcissant de ses précipités avec l'aluminium. Pour améliorer les propriétés mécaniques des alliages trempant, il est possible de provoquer un durcissement par précipitation et/ou par écrouissage alors que les alliages non trempant ne peuvent durcir que par écrouissage, c'est-à-dire par déformation plastique à froid.

2.3. Dénomination des alliages d'aluminiums :

Les alliages de chaque série sont désignés par 4 chiffres. Voir la figure 1.2, dont le premier désigne l'élément d'alliage principal (exemple 2xxx, le 2 désignant un alliage aluminium - cuivre). Les deux derniers chiffres sont désignés arbitrairement afin d'identifier un alliage spécifique, sauf pour la série 1000 où ils désignent les décimales du pourcentage d'aluminium au-delà de 99%.

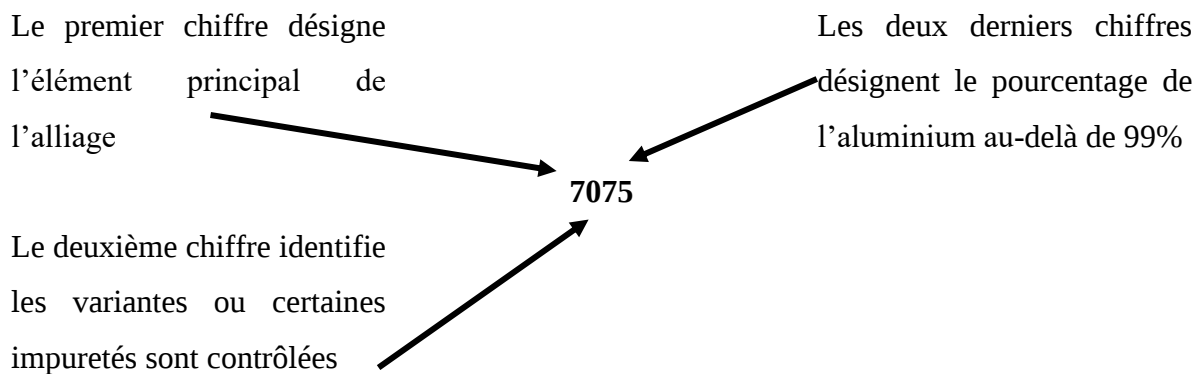


Figure 2.2 : Désignation des alliages d'aluminium

2.4. Les désignations des états métallurgiques :

- Symbole F : brut de fabrication
- Symbole O : état recuit (état de résistance mécanique le plus faible)
- Symbole H : état écroui (déformation plastique à froid)
 - H1 : état brut d'écrouissage
 - H2 : état écroui et partiellement restauré

Le second chiffre (de 1 à 9) suivant la lettre H caractérise le niveau de durcissement dû à l'écrouissage. Plus le chiffre est élevé, plus l'écrouissage est important.

- Symbole T : état trempé (matériau traité thermiquement avec ou sans écrouissage)
 - T1 : refroidi après mise en forme à chaud et mûri
 - T2 : refroidi après mise en forme à chaud, écroui et mûri
 - T3 : mis en solution, écroui et mûri
 - T4 : mis en solution et mûri

- T5 : refroidi après mise en forme à chaud et revenu
- T6 : mis en solution et revenu
- T7 : mis en solution et sur - revenu
- T8 : mis en solution, écroui et revenu
- T9 : mis en solution, revenu et écroui

La figure 2.3 représente un exemple de la signification des états de trempes.

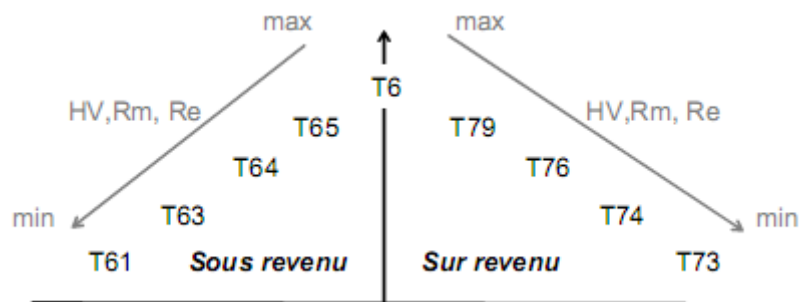


Figure 2.3: Les différents états de durcissement par précipitation

2.5. Subdivisions de l'état T :

Les subdivisions de l'état T sont représentées dans la figure 1.4.

Le symbole T est toujours suivi d'un ou de plusieurs chiffres.

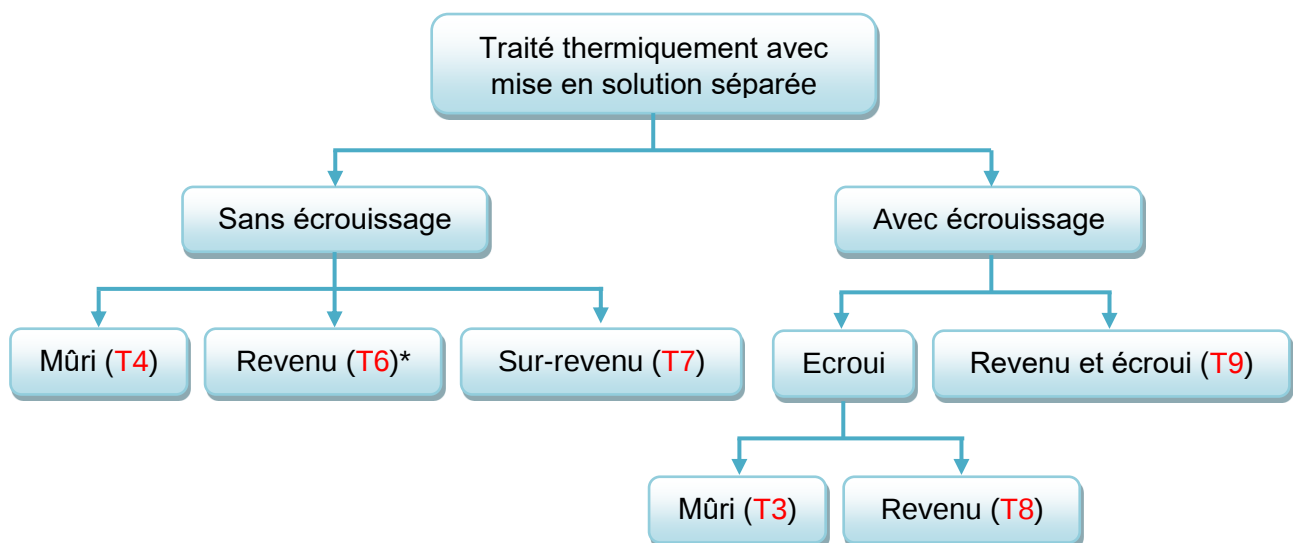


Figure 2.4 : Subdivisions de l'état T

(Traité thermiquement avec mise en solution séparée)

Avec : * : Un second chiffre associé correspondant à des états déterminés,

T61 : Revenu peu poussé afin de conserver une ductilité plus grande que celle de

L'état revenu normal: revenu doux,

T66 : Revenu procurant une résistance mécanique plus élevée que celle de l'état

Revenu normal.

2.6. Comparaison des caractéristiques mécaniques des différents alliages d'aluminium :

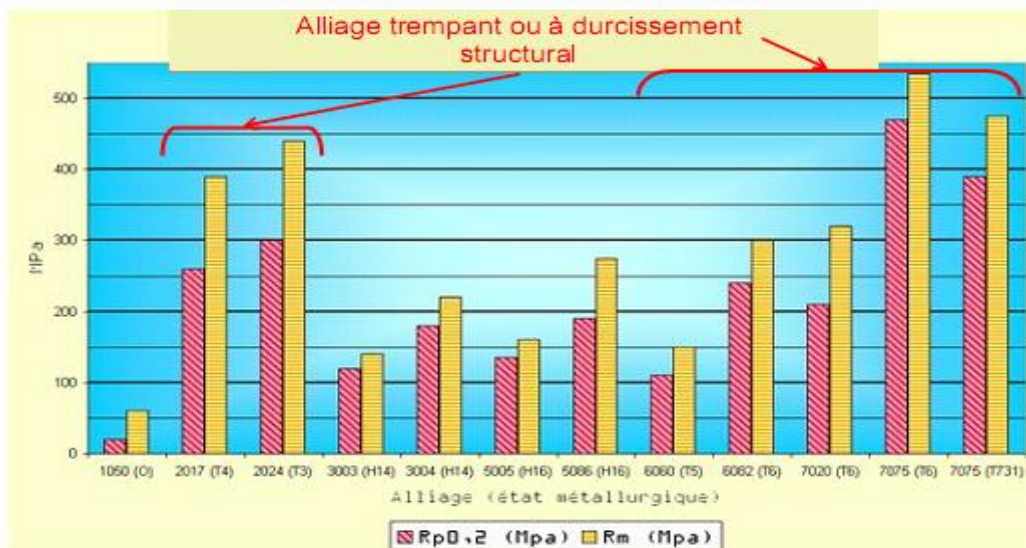


Figure 2.5 : Comparaison des caractéristiques mécaniques des différents alliages d'aluminium

Il est à noter que les alliages des séries 2000 et 7000 ont une résistance mécanique supérieure aux autres alliages. Ces deux types d'alliages sont principalement utilisés dans l'industrie aéronautique (comme par exemple la nuance 2024-T3) mais ils sont réputés pour être difficilement soudables. En soudage à l'arc classique, ils sont sensibles à la fissuration à chaud, nécessitant souvent l'apport d'un métal non trempant. De plus, ces alliages étant trempant, la zone affectée par la chaleur sont remettre en solution où un sur-revenu entraîne une chute des propriétés mécaniques.

2.7. Soudabilité des alliages d'aluminium :

Les problèmes rencontrés par les alliages d'aluminiums lors du soudage par fusion sont :

- Apparition de soufflures,
- Apparition de fissures,
- Diminution des propriétés mécaniques du métal de base (zone affaiblie),
- Elimination de la couche d'oxyde.

2.8. Les problèmes de soufflures :

L'un des problèmes rencontrés par les alliages d'aluminiums lors du soudage par fusion est l'apparition de soufflures (porosités à l'intérieur de la zone fondue). Celles-ci sont dues à la présence d'hydrogène dans le bain de fusion dont la solubilité dans l'aluminium est très différente entre l'état liquide et l'état solide. La conductivité thermique élevée de l'alliage d'aluminium entraîne une solidification tellement rapide qu'elle ne permet pas le dégazage du métal fondu. De l'hydrogène est alors emprisonné dans le cordon. L'hydrogène provient de l'humidité absorbée par la couche superficielle d'alumine qui se forme naturellement au contact de l'air (couche hygroscopique : qui absorbe et retient facilement l'humidité). Cette humidité se décompose dans l'arc en hydrogène et en oxygène. Pour éviter ce type de problème, il est nécessaire de décaper chimiquement ou mécaniquement les surfaces à souder.

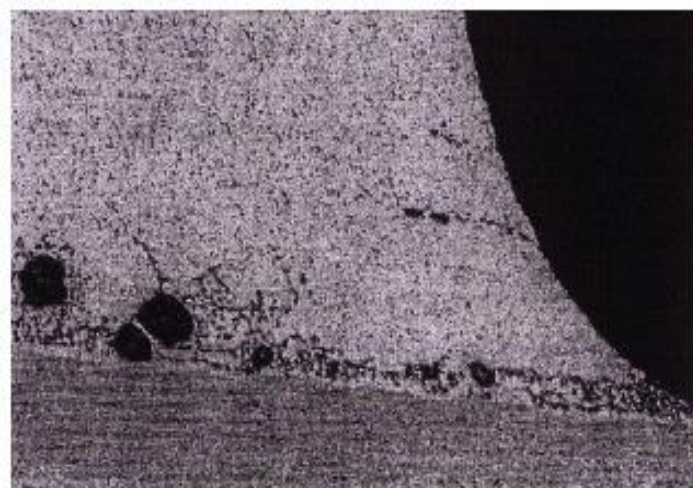


Figure 2.6: Apparition de soufflures dues à l'alumine (soudage à la limite du collage).

Les soufflures affectent les propriétés mécaniques de l'assemblage soudé. Elles sont un environnement propice à la formation et à la propagation de fissures. Ceci réduit

considérablement la tenue en fatigue et la résistance à la traction de l'assemblage. C'est pour cela, que lors du soudage par fusion, il est nécessaire de tout mettre en œuvre pour éviter la formation de soufflures.

2.9. Les alliages d'aluminium 7075 T6 :

2.9.1. La série 7000 (aluminium zinc) :

L'élément d'alliage de cette série est le zinc (Zn). Globalement, ils ont de très bonnes caractéristiques mécaniques. Ils sont les alliages d'aluminium à haute résistance. Malheureusement ces très bonnes caractéristiques mécaniques sont obtenues au détriment de la résistance à la corrosion.

Pour retrouver une bonne résistance à la corrosion, il faut effectuer un sur-revenu ou revenu à double palier (T7). Ce traitement se caractérise par une baisse des caractéristiques mécaniques.

Ces alliages se divisent en deux groupes : les 7000 avec addition de cuivre et les 7000 sans addition de cuivre.

2.9.1.1. Les alliages 7000 avec cuivre :

Ce sont eux qui ont les meilleures résistances mécaniques (à l'état T6). Le sur-revenu fait baisser les caractéristiques mécaniques d'environ 20 %. L'alliage le plus connu de ce groupe est le 7075 utilisé en : aéronautique, armements et sport.

2.9.1.2. Les alliages 7000 sans cuivre :

En les comparant avec les alliages avec cuivre, ils ont de moins bonnes caractéristiques mécaniques mais une meilleure résistance à la corrosion. Certains comme le 7020 présentent également de bonnes aptitudes à la soudure.

2.10. Domaine d'utilisation:

L'aluminium et ses alliages sont utilisés dans tous les domaines de l'industrie et de la vie quotidienne : construction aéronautique, automobile, ferroviaire et navale (superstructures et équipements), bâtiment (toitures, façades, aménagement intérieur), industrie électrique (câbles et appareillages), boîtes de boissons, etc... L'aluminium pur n'est pas une très grande résistance mécanique mais ses alliages peuvent avoir des propriétés remarquables.

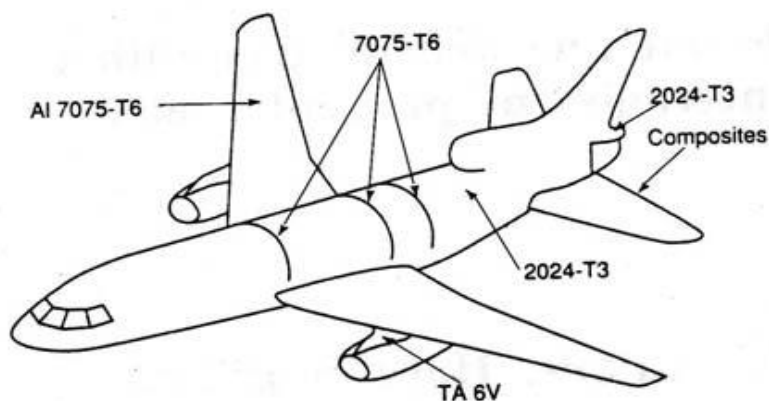


Figure 2.7: Exemple d'utilisation des alliages d'aluminium en aéronautique

Aussi, et étant donnée leur faible densité, ils sont aussi destinés aux applications nécessitant des propriétés mécaniques élevées pour un moindre poids.

Le tableau 1.3, représente une comparaison entre les alliages d'aluminium et d'autres matériaux subissant les mêmes sollicitations (flambage).

Tableau 2.3 : Comparaison entre les alliages d'aluminium et d'autres matériaux subissant les mêmes sollicitations (flambage)

	Limite d'élasticité (MPa)	Module de Young (GPa)	Densité	$EI/3/\rho$ (Flambage)
Acier inoxydable FV 520	1080	215	7,83	0,765
Alliage de Titane TA6V	830	110	4,43	1,080
Alliage d'aluminium 7075 T6	470	72	2,80	1,480

Conclusion

Les alliages d'aluminium représentent une famille de matériaux aux propriétés variées et adaptées à de nombreuses applications industrielles. Grâce à l'ajout d'éléments d'alliage tels que le cuivre, le magnésium, le zinc ou le silicium, les performances mécaniques, chimiques et physiques de l'aluminium pur peuvent être considérablement améliorées.

Ils se classent en deux grandes catégories : les alliages trempants, pouvant être durcis par traitement thermique, et les alliages non trempants, durcissables uniquement par écrouissage. La série 7000, notamment l'alliage 7075-T6, illustre parfaitement la haute résistance mécanique obtenue au détriment de la soudabilité et de la résistance à la corrosion.

Cependant, le soudage des alliages d'aluminium présente plusieurs défis tels que l'apparition de soufflures et de fissures, liés notamment à la présence d'hydrogène et à la conductivité thermique élevée du matériau.

Enfin, leur faible densité combinée à de bonnes propriétés mécaniques fait des alliages d'aluminium un choix de premier plan dans des secteurs exigeants comme l'aéronautique, le transport et le bâtiment

CHAPITRE 3 :
Procédures expérimentales

3.1. Présentation du matériau utilisé :

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi l'alliage d'aluminium 7075 sous la forme de tôles (290 x 210 mm) à l'état T6 et sous différentes épaisseurs (respectivement 2 et 2,5 mm).



Figure 3.1 : Plaque brute d'aluminium 7075 T6 (épaisseur = 2 mm)

Les alliages d'aluminium industriels 7075 T6 sont notamment utilisés en tant que tôles fortes pour les voilures d'avions. Ces alliages comportent les éléments Zn, Mg et Cu comme principaux éléments d'addition. Leur utilisation est due à leurs caractéristiques mécaniques supérieures.

Le Tableau 3.1 représente la composition chimique des échantillons de l'alliage d'aluminium 7075 T6 :

Tableau 3.1: Composition chimique (%) des échantillons d'alliage d'aluminium 7075 T6

	Si	Ti	Mn	Cu	Fe	Cr	V	Zn	Mg	Autres	Al
7075 T6	0,10	0,04	0,03	1,53	0,22	0,19	0,01	5,63	2,50	0,03	89,72

3.2. Technique de soudage TIG :

Les procédés de soudage par fusion utilisant un arc électrique comme source de chaleur sont classés comme procédés de soudage à l'arc. Ils représentent la source d'énergie la plus utilisée car la chaleur de fusion peut être facilement produite, concentrée et contrôlée.

Le procédé de soudage TIG consiste à chauffer la pièce à souder par la chaleur d'un arc électrique, qui jaillit entre l'électrode de tungstène non fusible et le matériau concerné. Ce procédé est le plus utilisé en comparaison avec les autres procédés de soudage à l'arc du fait qu'il ne nécessite pas obligatoirement de métal d'apport pour transmettre la chaleur à la pièce à souder, contrairement au soudage à électrode fusible ou enrobée.

En pratique, la notion de passe est importante. Le résultat d'une passe est un cordon de soudure. La première passe est appelée passe de fond et le reste est appelé passe de remplissage.

La pénétration correspond à la profondeur sur laquelle s'étend la fusion dans le métal de base.

3.2.1. Préparation des tôles à souder :

Avant d'arriver à l'étape finale de la réalisation de la soudure, et dans le but d'obtenir un bon état de soudure, les plaques de l'alliage d'aluminium à souder doivent être préparées d'une manière très soignée. Plusieurs étapes doivent être respectées car l'alliage d'aluminium 7075 T6 est difficile à souder du fait que l'oxydation superficielle de l'aluminium et de ses alliages produit une couche d'alumine Al_2O_3 . Cette couche constitue un barrage entre les plaques à assembler.

Ainsi donc, le soudage TIG, dans notre cas, demande au préalable un décapage des plaques à assembler et une protection du bain de fusion pour éviter une réoxydation du métal fondu. Ce décapage se fait avant et en cours de soudage.

La préparation et le soudage de notre matériau furent pratiqués au Centre de Recherche en Technologie Industrielle (CRTI) de Cheraga (Alger).

La prochaine étape consiste à préparer le chanfrein. Le choix de ce dernier dépend de :

- L'épaisseur de la tôle,
- La possibilité d'accès à l'envers,
- Des déformations minimales imposées et la minimisation des coûts.

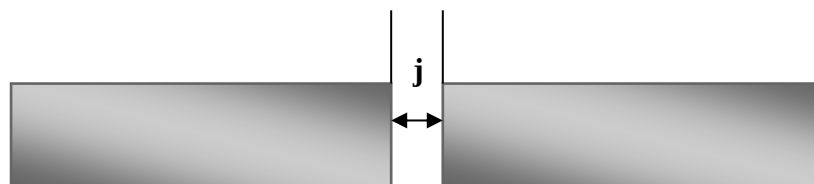


Figure 3.2 : Préparation des échantillons avant le soudage

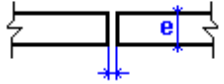
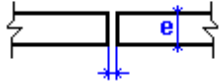
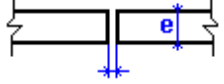
Avec :

j = distance entre les deux plaques avant le soudage

Ainsi et avant de souder, le choix du type de chanfrein dépend de l'épaisseur de la tôle. A partir de cette épaisseur, on détermine l'intensité du courant utilisé, le diamètre de l'électrode et le diamètre de la baguette d'apport.

Le tableau 3.2 illustre le type de préparation des plaques :

Tableau 3.2 : Type de préparation du joint avant le procédé de soudage TIG

Epaisseur de la tôle e = mm	Fourchette d'intensité (A)	Diamètre du métal d'apport (mm)	Type de préparation
0,80 à 1,00	10 à 80	Sans ou Ø 1,00	
1,50 à 2,00	40 à 100	1,60	
2,00 à 3,00	80 à 160	1,60 à 2,00	
3,00 à 4,00	120 à 260	2,00	

Sachant que notre type de matériau est difficile à souder, un décapage des pièces à assembler est exigé ainsi qu'une protection du bain de fusion pour éviter une réoxydation du métal fondu. Le décapage est réalisé soit mécaniquement (brosse rotative à fils d'acier inoxydable), soit chimiquement (attaque à la soude, passivation à l'acide nitrique et rinçage à l'eau).

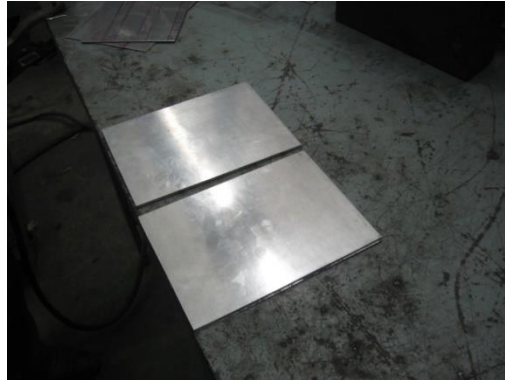


Figure 3.3 : Plaque d'aluminium 7075 T6 prête pour le soudage (épaisseur = 2,5 mm)

3.2.2. Principe et paramètres technologiques du soudage TIG :

Lors de l'application du procédé de soudage TIG, on fait jaillir de l'argon (arc électrique) entre une électrode infusible de tungstène et la pièce à souder opposée. Un champ magnétique auto induit est engendré et crée à son tour des forces de Lorentz. Celles-ci vont entraîner le gaz en protection vers la surface de la pièce à souder. Cette énergie calorifique permet de faire fondre localement la pièce à souder formant ainsi le joint soudé après refroidissement. La forme de la pointe de l'électrode peut affecter la forme du bain de fusion. Généralement, les pointes des électrodes utilisées, comme pour le cas du courant direct, sont ragrénées sous une forme conique.

La figure 3.4 représente les premières étapes du procédé de soudage TIG :



Figure 3.4 : Premières étapes du procédé de soudage TIG

Les procédés de soudage à l'arc peuvent être utilisés en courant continu (DC), avec l'électrode négative (EN) ou positive (EP), ou en courant alternatif (AC).

A titre d'exemple, et ayant utilisé une grande vitesse et une grande intensité lors du soudage d'un matériau traité, une fissure est apparue.

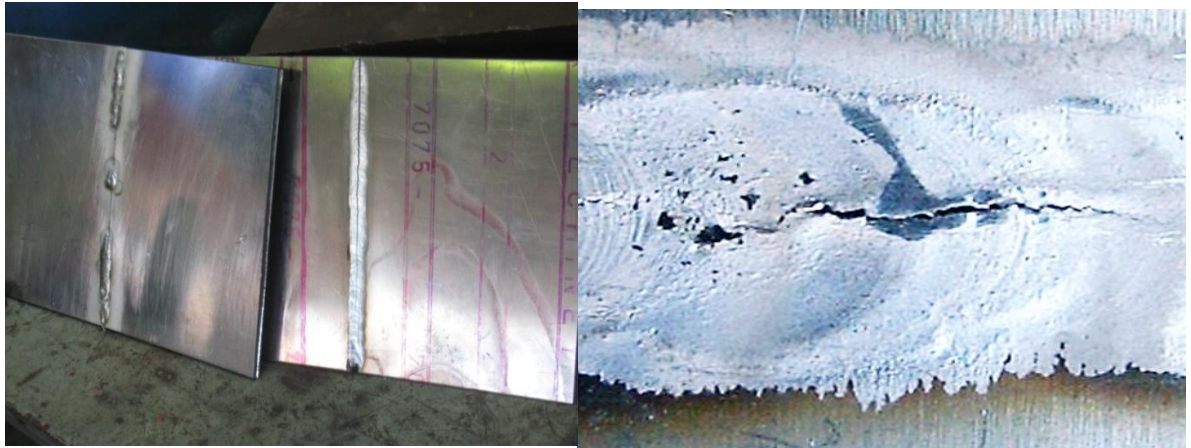


Figure 3.5 : Apparition d'une fissure dans l'échantillon (épaisseur = 2 mm) lors de l'utilisation d'un ampérage de 140 A

Le tableau 3.3 retrace les paramètres de soudage utilisés lors de notre expérience :

Tableau 3.3 : Paramètres de soudage

Epaisseur de l'échantillon (mm)	Courant utilisé (V)	Intensité (A)	Diamètre électrode (mm)
2	12 - 18	85 – 140	1,5
2,5	12 - 18	100 – 140	2

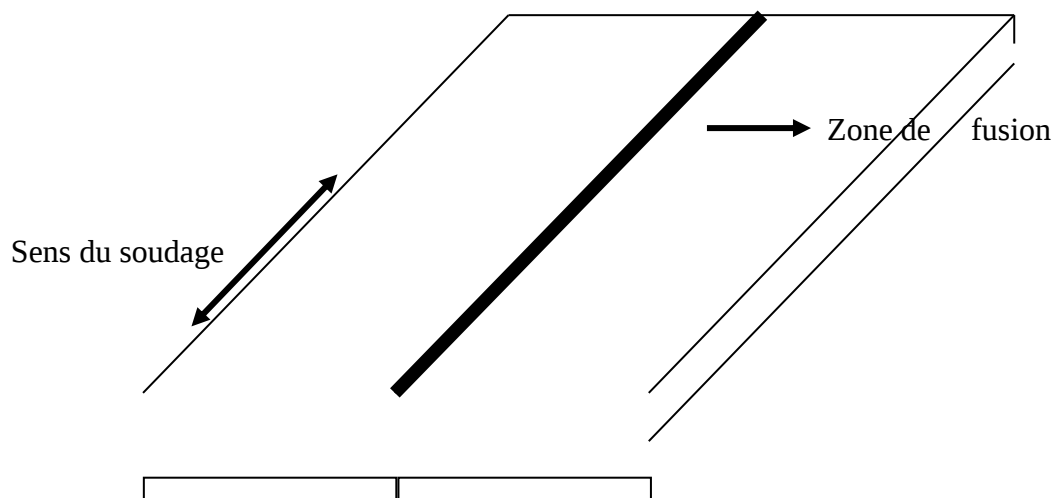


Figure 3.6 : Schéma du procédé de soudage



Figure 3.7 : Plaques soudées (épaisseur = 2.5 mm)

3.2.3. Contrôle des soudures :

La qualité d'un assemblage soudé dépend du procédé employé, de la nature des matériaux à assembler, du réglage des paramètres de soudage (intensité, vitesse et tension), du choix du métal d'apport et éventuellement du réglage du débit du gaz. De nombreux défauts peuvent donc affecter la qualité d'une soudure. Ces défauts sont classés d'après la norme NF EN 26520, en 6 groupes : fissures, cavités, inclusions, manque de fusion et de pénétration, défauts de forme et défauts divers. Certains de ces défauts sont détectables à la surface du cordon de soudure, d'autres le sont à l'intérieur du joint soudé et nécessitent des examens approfondis.

Le choix d'une méthode de contrôle dépend du type des défauts probables et nocifs, de la procédure d'exploitation et des critères d'acceptation adaptés aux produits à contrôler car chaque soudure doit résister aux différentes sollicitations auxquelles elle sera soumise. Cette soudure doit être parfaite et ne doit en aucun cas présenter des défauts pouvant altérer la structure dont elle fait partie. Ainsi, il existe plusieurs types de contrôle pour vérifier l'état de cette soudure. On pratique ces contrôles avant, pendant, et après le soudage.

3.2.3.A. Contrôle avant le soudage :

Dans le but de prévenir les défauts, on vérifie :

- Le matériel de soudage,
- La préparation des pièces à souder,
- La qualité du métal,
- Le mode opératoire de soudage,
- La qualification des soudeurs et opérateurs de soudage.

3.2.3.B. Contrôle pendant le soudage :

Il consiste à assurer que le soudage se déroule dans de bonnes conditions et que les règles de soudage soient bien respectées.

On vérifiera :

- Le réglage du matériel de soudage,
- Les séquences et cycles de soudage,
- La nature et la dimension du métal d'apport,
- Le maintien en température,
- L'état du joint à réaliser,
- Les déformations.

3.2.3.C. Contrôle après le soudage :

Pour mettre en évidence des défauts éventuels du soudage, on doit utiliser une ou deux des méthodes suivantes :

- Le contrôle destructif,
- Le contrôle non destructif.

Le contrôle destructif : Il s'agit d'essais mécaniques ou métallographiques conduisant à la destruction de la construction. Ce type de contrôle comprend les essais de texture, mécaniques, corrosion, macrographiques et micrographiques.

Le contrôle non destructif : Il s'agit d'une méthode qui permet d'obtenir sans destruction, ni altération de la construction, des informations sur les défauts ou anomalies présents dans une construction soudée. Ce type de contrôle comprend le contrôle visuel, par ressuage, magnétique, par radiographie et par ultrasons.

3. 3. Essai de traction :

Les essais mécaniques des soudures dérivent des techniques conventionnelles. Initialement établis pour des produits homogènes, ils sont mis en œuvre sur des produits hétérogènes présentant des discontinuités de forme, des hétérogénéités (zone fondue, zone affectée thermiquement,...) et d'éventuels défauts internes.

Le but de ces essais est de contribuer à l'évaluation de la qualité d'un assemblage, de caractériser l'interaction entre un matériau et un procédé de soudage, et de fournir des données quantitatives sur le comportement des assemblages soudés.

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement le plus important. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques suivantes : le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement après rupture et le coefficient de striction. Son principe consiste à exercer sur une éprouvette normalisée deux forces égales et opposées qui vont entraîner sa déformation progressive puis sa rupture. Son exécution est facile et les résultats obtenus serviront à dimensionner toutes sortes des pièces allant d'un pignon microscopique jusqu'à la structure métallique d'une grande pièce.

L'objectif de cet essai est :

- De faire connaître le fonctionnement d'une machine de traction et des capteurs qui y sont appliqués,
- De mesurer des courbes de traction sur des matériaux comme les alliages d'aluminium,
- D'interpréter les résultats obtenus: déterminer la limite élastique, l'allongement à rupture, etc...,
- D'estimer la précision de mesure.

L'essai de traction est pratiqué sur des barres de section constante, ou sur des éprouvettes cylindriques ou prismatiques, prolongées de part et d'autre par des têtes d'attache de forme appropriée pour la fixation.

Cet essai s'est déroulé au Centre de Recherche en Technologie Industrielle (CRTI) de Cheraga (Alger) avec l'utilisation d'une machine hydraulique de marque Instron à commande électrique. Le pilotage et l'acquisition des données ont été effectués à l'aide de la console de la machine, l'ensemble guidé par un logiciel Merlin. La cellule d'effort ayant une capacité de ± 600 KN.

Cette machine est représentée dans la figure 3.8 :

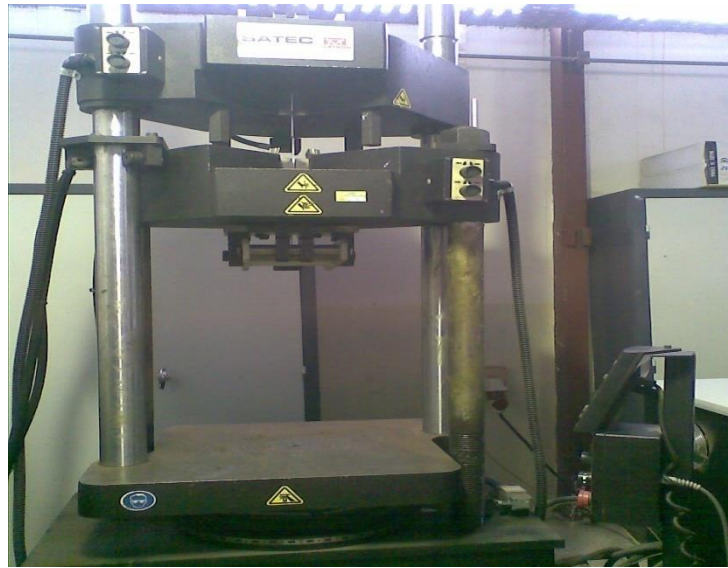


Figure 3.8 : Machine de traction de marque Instron

Le type d'éprouvette utilisée est le suivant :

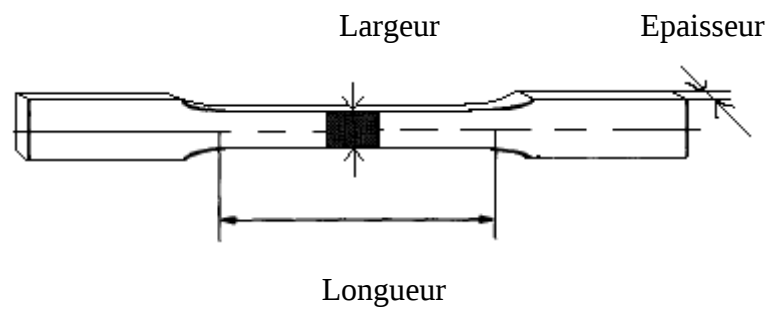


Figure 3.9 : Eprouvette de l'essai de traction normalisée

Avec :

Largeur : 19,16 mm

Longueur : 122 mm

Les différentes étapes de l'essai de traction sont représentées dans la figure 3.10 :

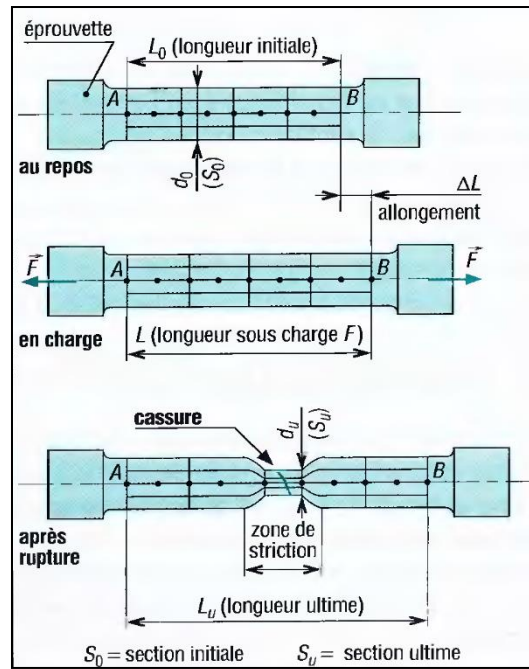


Figure 3.10 : Les différentes étapes de l'essai de traction d'une éprouvette

De l'essai de traction, on obtient les caractéristiques mécaniques suivantes :

- Module d'élasticité,
- Limite élastique conventionnelle,
- Limite apparente d'élasticité supérieure/inférieure,
- Résistance à la traction,
- Allongement à la rupture.

L'objectif de cet essai est de mesurer les courbes de traction sur notre matériau et d'interpréter les résultats comme la détermination de la limite élastique, l'allongement à rupture, etc...,

Nous rappelons que cet essai a été exécuté sur des éprouvettes normalisées pour l'obtention des caractéristiques mécaniques : le module d'élasticité, la limite élastique conventionnelle, la limite apparente d'élasticité supérieure/inférieure, la résistance à la traction et l'allongement à la rupture.

Cet essai a été réalisé sur des éprouvettes contenant une soudure perpendiculaire à l'axe de traction et d'épaisseurs de 2 et 2,5 mm.

a) Pour l'échantillon d'épaisseur = 2 mm, on obtient :

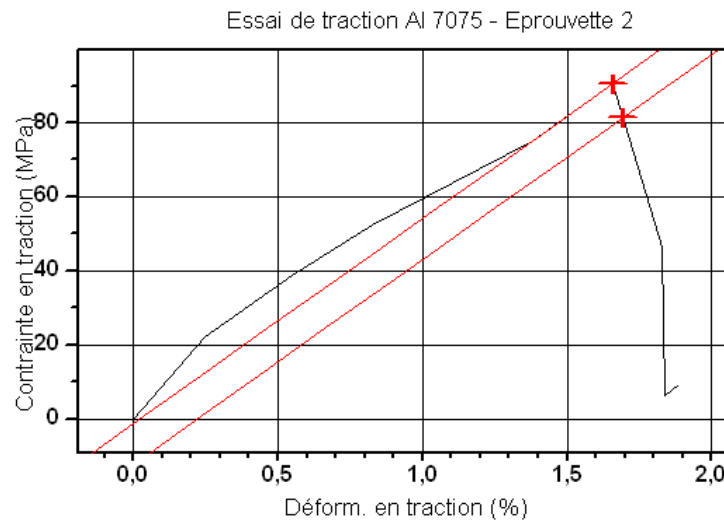


Figure 3.11 : Essai de traction sur une éprouvette avec une intensité de 100 A (épaisseur = 2mm)

Avec :

Charge maximale KN	Contrainte maximale MPa	Module de Young Mpa	Limite d'élasticité Mpa	Déformation à la rupture %
03,41	90,47	5537,238	81,360	01,89

b) Pour l'échantillon d'épaisseur = 2,5 mm, on obtient :

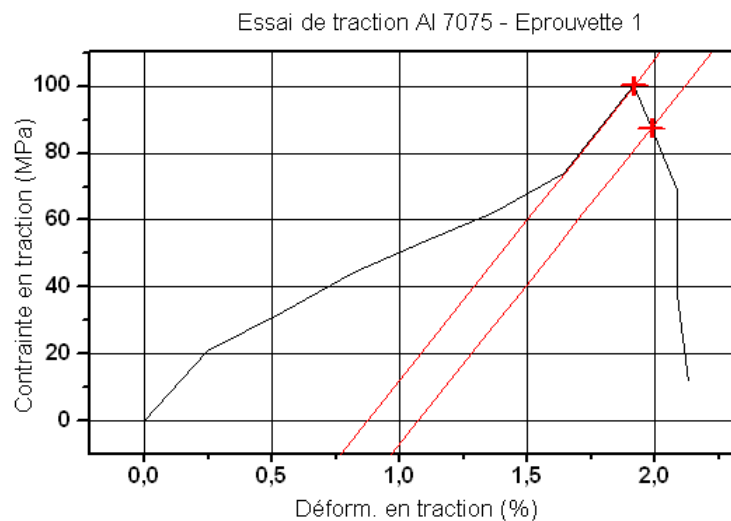


Figure 3.12 : Essai de traction sur une éprouvette avec une intensité de 100 A (épaisseur

= 2,5mm)

Avec :

Charge maximale KN	Contrainte maximale MPa	Module de Young MPa	Limite d'élasticité MPa	Déformation à la rupture %
04,88	99,40	9495,93	86,75	02,13

CHAPITRE 4 :

**Simulation d'un essai de traction à l'aide de la
dynamique explicite dans ANSYS Workbench**

Introduction

La **simulation numérique des essais mécaniques** constitue aujourd'hui une étape cruciale dans le processus de conception et d'optimisation des matériaux, ainsi que dans la validation des procédés de fabrication. Parmi les différentes méthodes d'essai, **l'essai de traction** se distingue comme l'un des moyens les plus couramment utilisés pour déterminer les propriétés mécaniques d'un matériau, telles que la limite d'élasticité, la résistance à la rupture ou encore l'allongement à la rupture. Cet essai consiste à soumettre une éprouvette à une sollicitation axiale croissante jusqu'à la rupture, afin d'étudier sa réponse mécanique.

Dans ce contexte, la **méthode de dynamique explicite** proposée par le logiciel **ANSYS Workbench** représente un outil numérique particulièrement puissant et adapté. Elle permet de simuler avec une grande précision le comportement du matériau, en tenant compte de phénomènes complexes tels que les **grandes déformations**, la **vitesse élevée de chargement**, les **contacts non linéaires** entre les différentes parties du modèle, et même l'**endommagement progressif** du matériau. Cette approche est donc tout à fait appropriée pour modéliser les essais de traction dans des conditions réalistes, notamment lorsqu'il s'agit de matériaux ductiles, composites, ou encore soudés, pour lesquels les sollicitations peuvent engendrer des comportements fortement non linéaires.

Étapes de la simulation dans ANSYS Workbench

1. Préparation du modèle

La première étape du processus de simulation consiste à modéliser l'éprouvette d'essai à l'aide du logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) SolidWorks. Cette modélisation repose sur les dimensions normalisées de l'éprouvette. Il est essentiel de respecter avec rigueur ces dimensions afin d'assurer la validité des résultats obtenus lors de la simulation. Dans SolidWorks, l'éprouvette est construite en 3D en utilisant les fonctions de base telles que les esquisses, les extrusions ou les révolutions. Une attention particulière doit être portée à la symétrie, aux rayons de raccordement et à la zone de transition entre la partie centrale et les extrémités, car ces zones influencent fortement la distribution des contraintes. Une fois la géométrie validée, elle est ensuite exportée dans un format neutre (tel que STEP ou IGES) pour être importée dans l'environnement de simulation ANSYS Workbench.

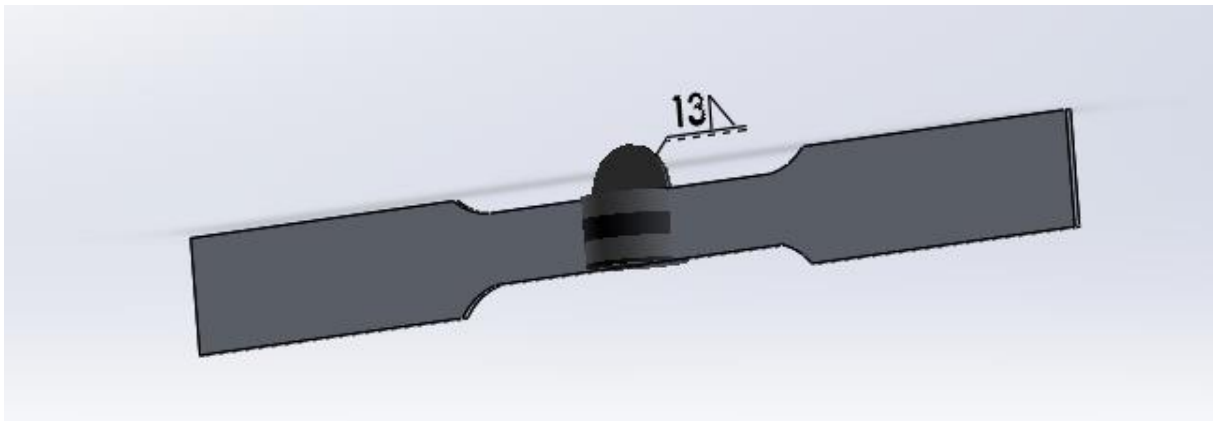


Figure 4.1: éprouvette soudée

La deuxième étape du processus de simulation consiste à importer un modèle 3D de l'éprouvette dans l'environnement ANSYS Workbench. Ce modèle géométrique est généralement conçu au préalable à l'aide d'un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) tel que SolidWorks

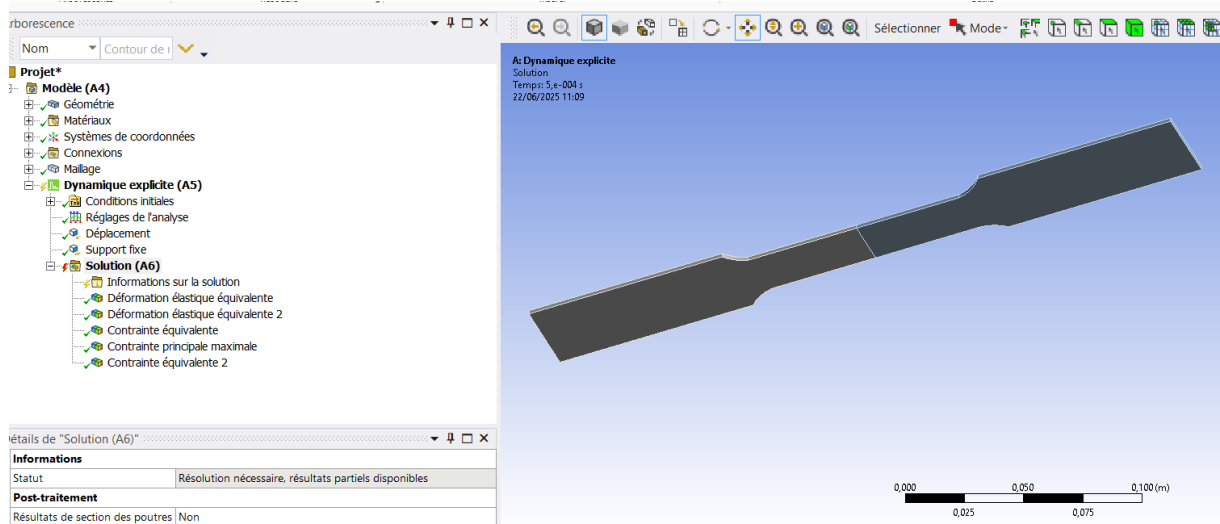


Figure 4.2 : Importation de la géométrie dans ANSYS

2. Définition des propriétés du matériau

Le matériau utilisé est défini à l'aide de ses propriétés mécaniques : module d'Young, limite d'élasticité, densité, et comportement plastique. Dans le cadre de la simulation, un modèle élasto-plastique est souvent utilisé afin de prendre en compte la plasticité du matériau au-delà de la limite d'élasticité.

Tableau 4.1 : caractéristiques physiques de l'alliage d'aluminium 7075 T6

Désignation	Matériau : 7075
Masse volumique (g/cm ³)	2,80
Intervalle de fusion	475-630
Coefficient de dilatation linéique (0 à 100 °C) (°C ⁻¹ ,106)	23,5
Module d'élasticité (MPa) (1)	72000
Coefficient de Poisson	0,33
Conductivité thermique (0 à 100°C) (W/M°C)	État T6 : 130
Résistivité à 20°C (μΩcm)	État T6 : 5.2
Capacité thermique massique (0 à 100°C) (J/kg°C)	915
Limité élastique RP0.2 (MPa)	470
Limité à la rupture Rm (MPa)	535
Allongement (%)	8
Limité élastique RP0.2 (MPa)	390
Limité à la rupture Rm (MPa)	475
Allongement (%)	7

(1) = Moyenne des modules de traction et de compression

3. Maillage :

Le type de maillage utilisé est un **maillage structuré en éléments quadrilatères**. Les éléments ont une forme régulière (carrée ou rectangulaire) et sont bien alignés, ce qui améliore la précision des résultats.. On remarque que les éléments sont **plus petits au centre de l'éprouvette**, là où se trouve probablement la zone soudée. Cela permet d'avoir **plus de précision** dans cette partie, car c'est là que les efforts sont les plus importants. Aux extrémités, les éléments sont **plus grands**, car les contraintes changent peu dans ces zones. Ce type de maillage est bien adapté: il **réduit le temps de calcul** tout en donnant de bons résultats dans les zones critiques.

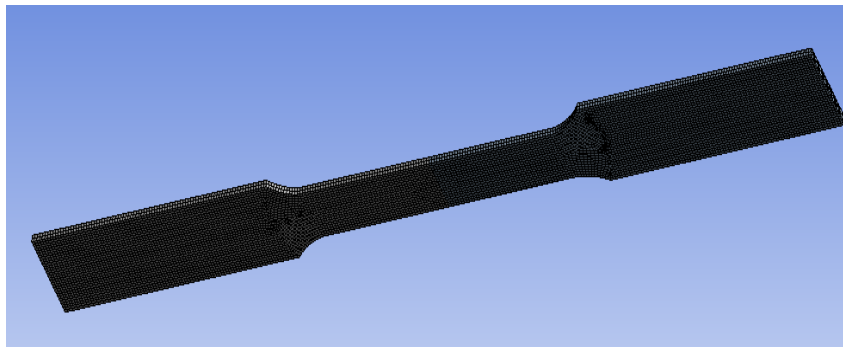


Figure 4.3 : génération de maillage

4. Application des conditions aux limites:

L'éprouvette est fixée à l'une de ses extrémités, de manière à simuler un encastrement. À l'autre extrémité, un déplacement est appliqué afin de simuler la traction. Ce déplacement peut être imposé à l'aide d'un corps rigide qui agit comme une plaque de traction. La vitesse de déplacement doit être adaptée afin d'éviter l'instabilité numérique.

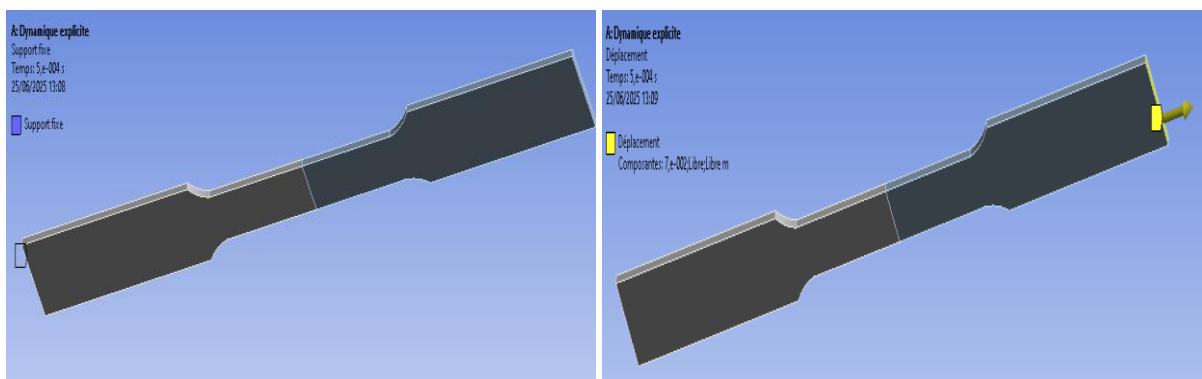


Figure 4.4 : Application des conditions aux limites

5. Mise en place du contact

Un contact est défini entre l'éprouvette et la plaque mobile. Le comportement du contact peut être défini comme frictionnel ou sans frottement, selon le cas étudié. Il est essentiel de bien définir les surfaces maîtres et esclaves du contact pour éviter les erreurs lors du calcul.

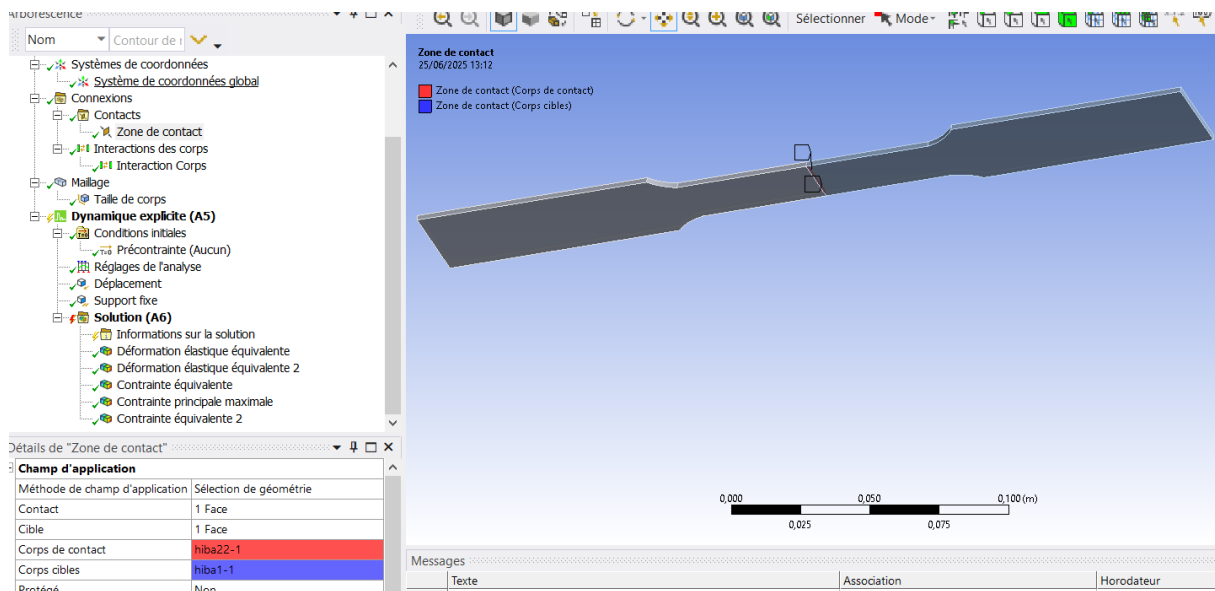


Figure 4.5 : gestion de contact

6. Configuration de la dynamique explicite

La simulation est réalisée à l'aide du module Explicit Dynamics d'ANSYS. Cette méthode est particulièrement adaptée aux problèmes rapides ou à fort non-linéarités (grandes déformations, contacts). Le pas de temps est automatiquement calculé en fonction de la géométrie et des propriétés du matériau, mais il peut être contrôlé pour améliorer la stabilité.

7. Résultats de simulation et traitement des données pour l'éprouvette mince (2 mm)

Une fois la simulation lancée, les résultats peuvent être visualisés sous forme :

- de courbes de force-déplacement.
 - de distributions de contraintes et de déformations.
 - ou d'animations montrant la déformation de l'éprouvette en temps réel.
- Il est aussi possible d'extraire des données en différents points ou surfaces pour des analyses plus fines.

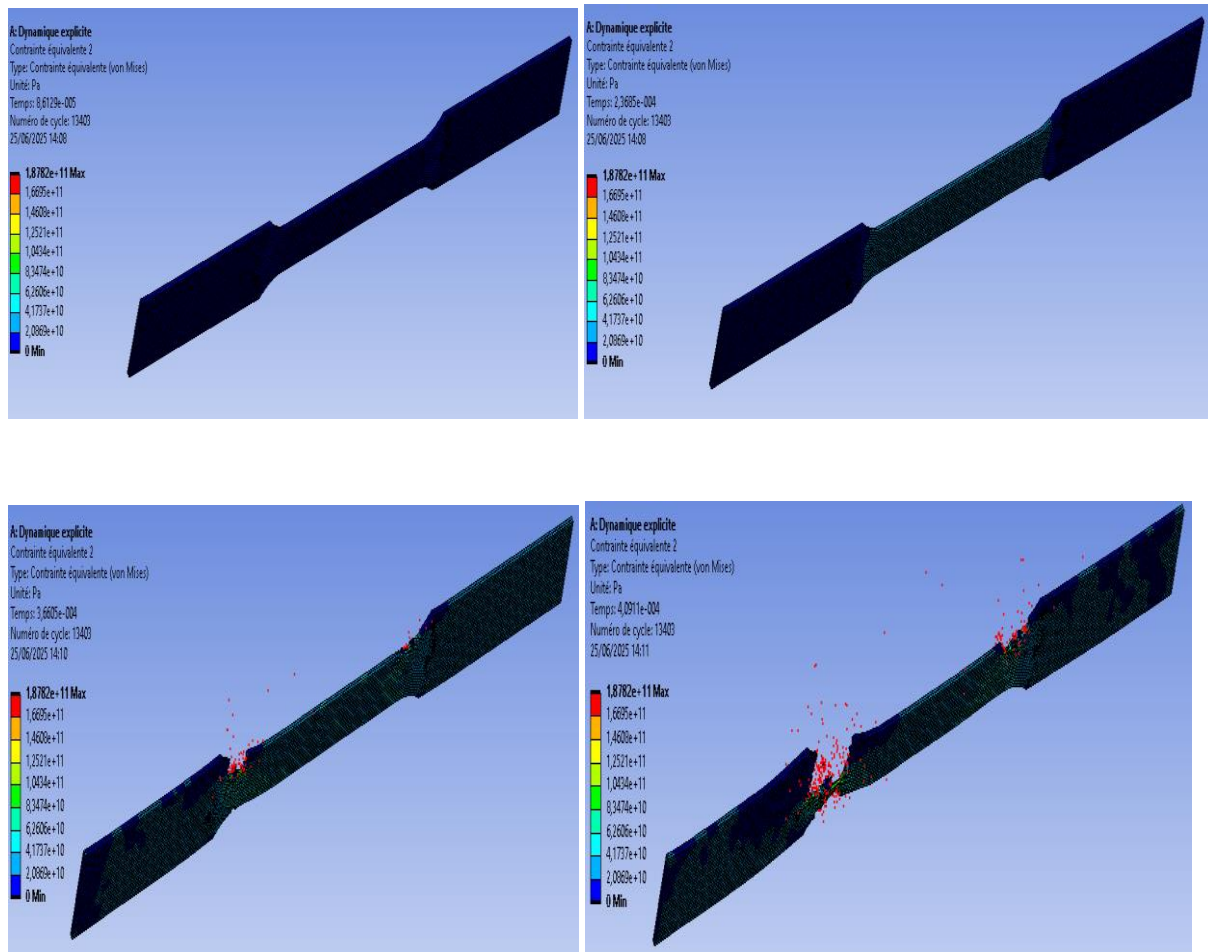


Figure 4.6 : distribution des contraintes de Von Mises

La figure montre comment les contraintes de Von Mises sont réparties dans la pièce. Elle permet d'identifier les zones où le matériau est le plus sollicité. Les zones avec des contraintes élevées peuvent indiquer un risque de déformation permanente ou de rupture. Si la contrainte dépasse la limite élastique du matériau, il peut y avoir un début de plastification. La répartition des contraintes dépend de la forme de la pièce, des forces appliquées et des points de fixation.

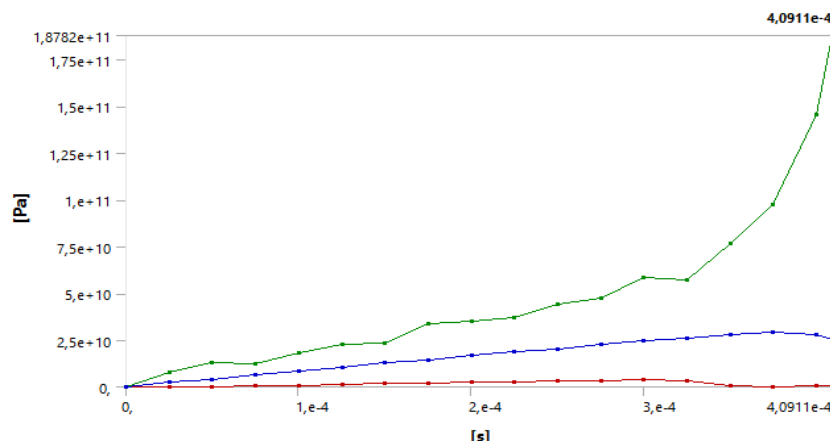


Figure 4.7 : variation des contraintes de Von Mises

La courbe de variation des contraintes de Von Mises montre comment les contraintes changent en fonction d'une variable, comme la position ou la charge appliquée. Si la courbe évolue de manière régulière, cela indique que le comportement du matériau est stable. En revanche, un pic de contrainte peut révéler un changement brusque, dû par exemple à une charge concentrée. Cette courbe permet aussi de vérifier si les contraintes restent en dessous de la limite que le matériau peut supporter sans se déformer de façon permanente.

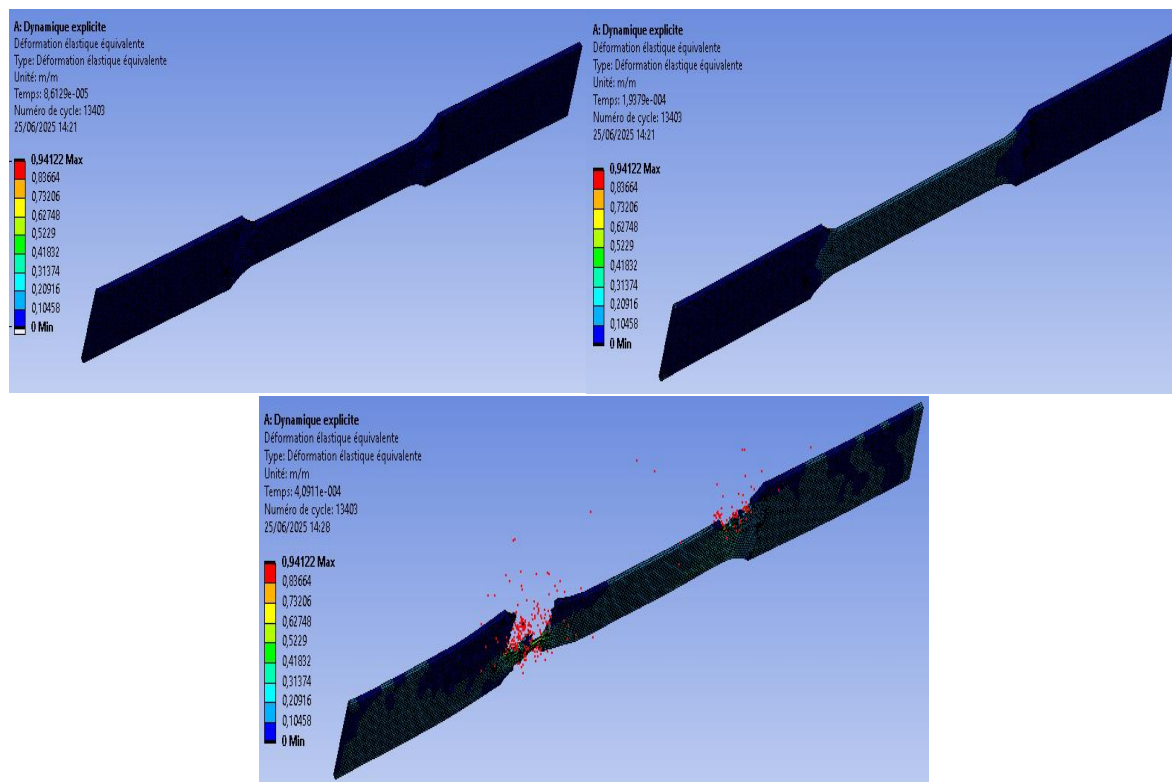


Figure 4.8 : la déformation élastique équivalente

Cette figure montre la répartition des déformations dans la structure. Il s'agit souvent de la déformation équivalente de Von Mises, qui donne une idée de l'intensité de la déformation dans les différentes régions.

- Les zones rouges ou très colorées montrent les endroits les plus déformés (souvent compatibles avec les zones de haute contrainte).
- Si les déformations sont élevées, cela peut indiquer une faiblesse mécanique locale ou une surcharge.

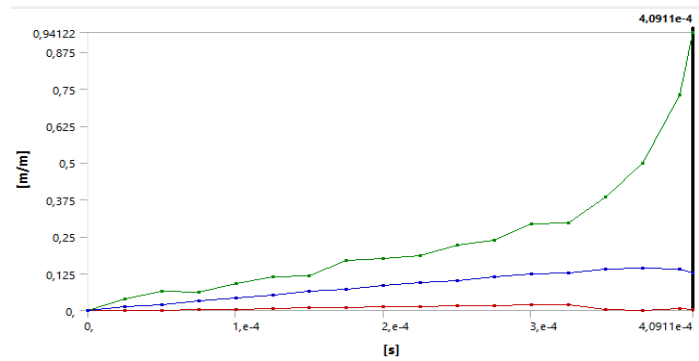


Figure 4.9 : variation de la déformation élastique équivalente

Cette courbe donne l'évolution des déformations équivalentes par rapport à une variable (longueur, temps, charge...).

- Une évolution linéaire indique un comportement purement élastique.
- Une rupture de pente ou un changement brutal dans la courbe peut signaler l'apparition de comportements non linéaires (plastification, endommagement...).

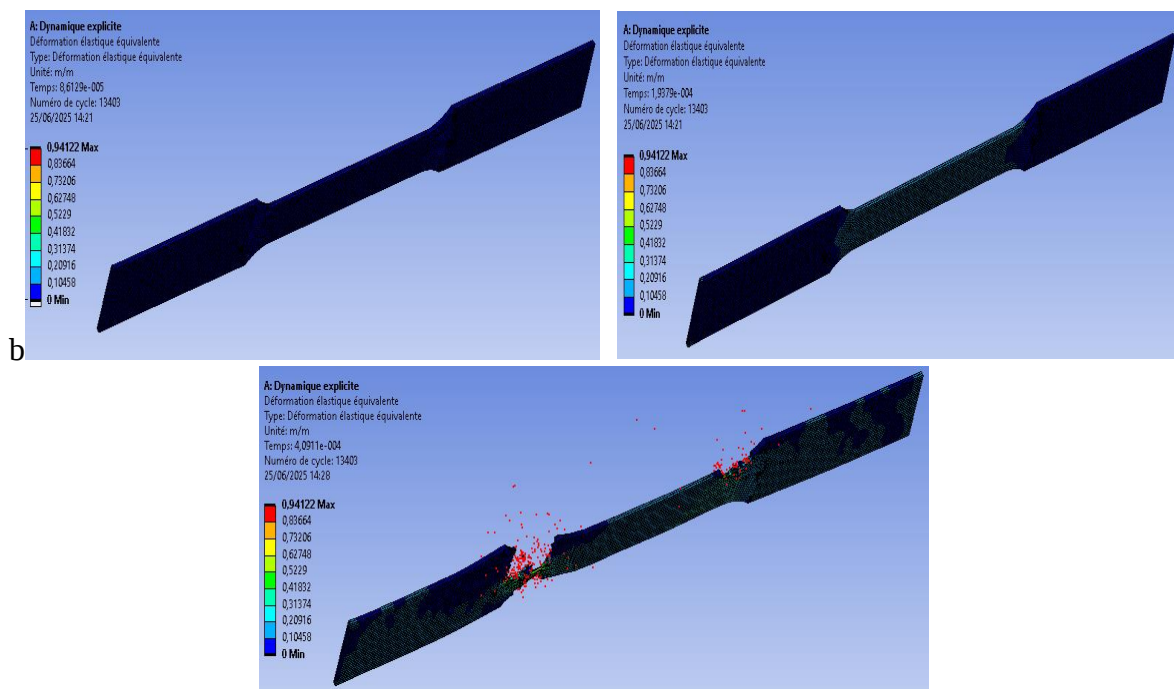


Figure 4.10 : la déformation élastique équivalente

Cette figure montre la répartition des déformations dans la structure. Il s'agit souvent de la déformation équivalente de Von Mises, qui donne une idée de l'intensité de la déformation dans les différentes régions.

- Les zones rouges ou très colorées montrent les endroits les plus déformés (souvent compatibles avec les zones de haute contrainte).
- Si les déformations sont élevées, cela peut indiquer une faiblesse mécanique locale ou une surcharge.

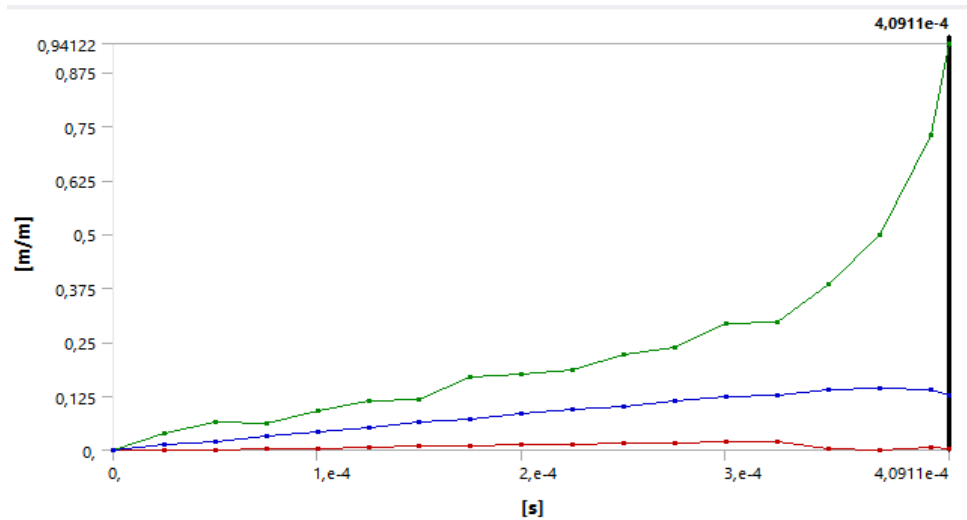


Figure 4.11 : variation de la déformation élastique équivalente

Cette courbe donne l'évolution des déformations équivalentes par rapport à une variable (longueur, temps, charge...).

- Une évolution linéaire indique un comportement purement élastique.
- Une rupture de pente ou un changement brutal dans la courbe peut signaler l'apparition de comportements non linéaires (plastification, endommagement...).
- Peut être utilisé pour valider un modèle de comportement mécanique.

La simulation d'un essai de traction à l'aide de la dynamique explicite dans ANSYS permet de reproduire avec une grande fidélité le comportement mécanique des matériaux, tout en évitant les coûts associés aux essais physiques. Elle est particulièrement utile pour les matériaux difficiles à tester ou dans le cadre d'optimisation de forme ou de processus. Toutefois, cette méthode requiert une bonne maîtrise des paramètres de simulation pour éviter les erreurs numériques.

8. Résultats obtenus pour l'éprouvette de 2,5mm

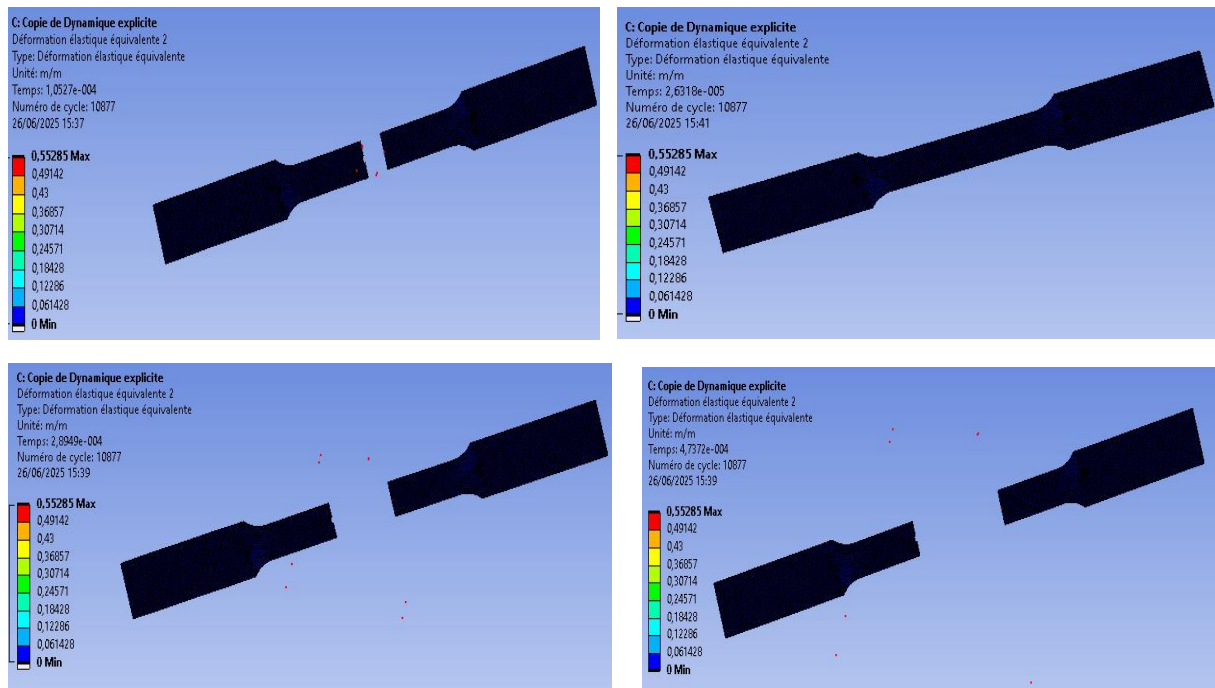


Figure 4.12 : distribution de la déformation élastique équivalente

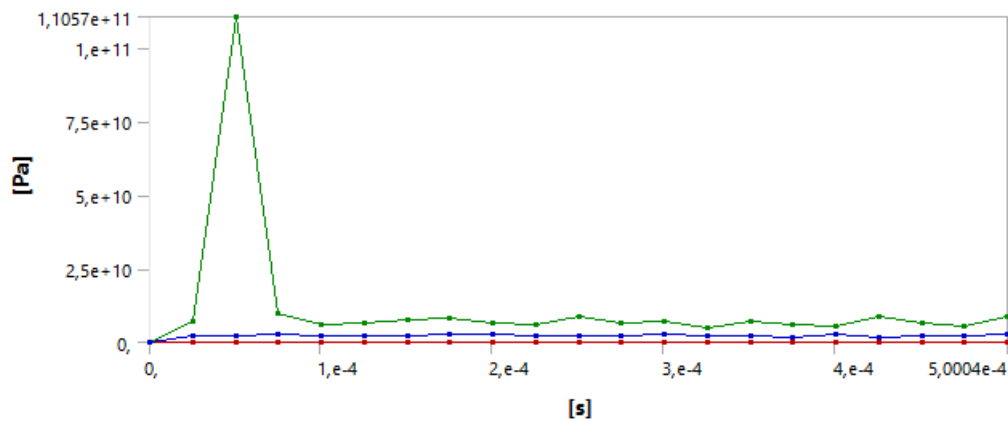


Figure 4.13 : courbe de déformation élastique équivalente

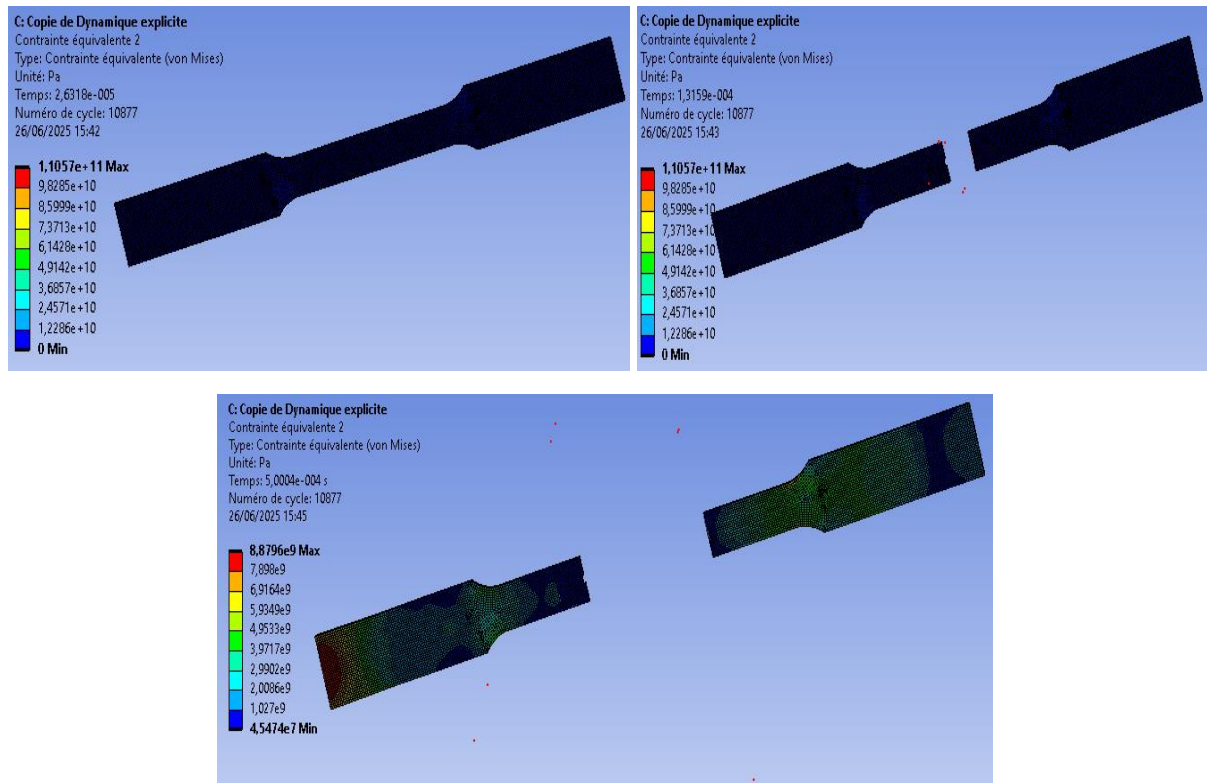


Figure 4.14 : distribution de la contrainte équivalente de Von Mises

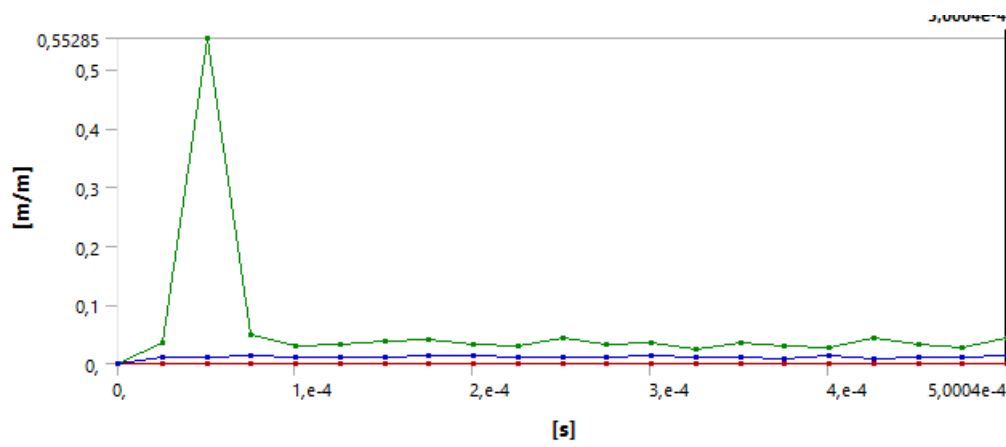


Figure 4.15 : courbe de la contrainte équivalente de Von Mises

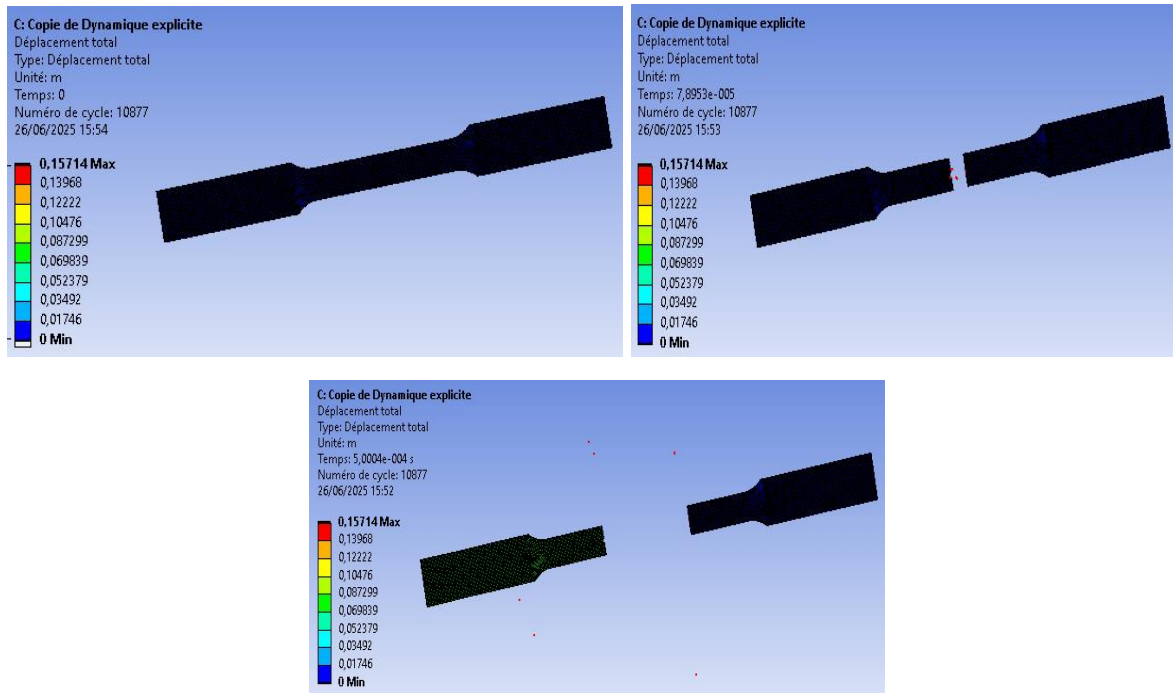


Figure 4.16 : les déplacements totaux

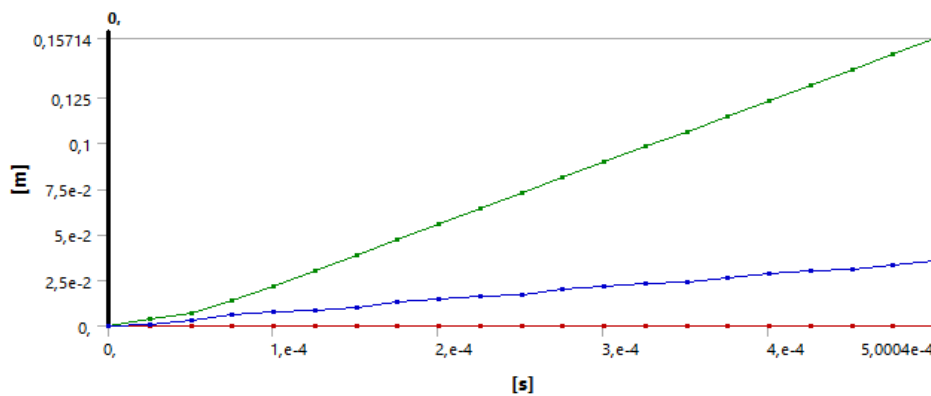


Figure 4.17: courbe des déplacements totaux

Pour l'éprouvette de 2,5 mm, les résultats révèlent une **concentration importante des contraintes et des déformations dans la zone de soudure TIG**. La rupture s'est produite exactement au niveau de cette zone, ce qui indique que la **soudure est moins résistante que le matériau de base** dans ce cas. Cette différence peut être liée à **des défauts internes** dans la soudure ou à une **altération des propriétés mécaniques** due à l'effet thermique du procédé TIG. La figure des déplacements totaux montre également un maximum dans cette même zone, renforçant l'hypothèse d'une fragilité locale.

9. Interprétation des résultats pour l'éprouvette de 2,5 mm

Les différentes figures obtenues pour l'éprouvette de 2,5 mm montrent que la zone de soudure TIG est la partie la plus sollicitée mécaniquement.

- La figure de la contrainte équivalente de Von Mises montre une forte concentration des contraintes précisément au niveau de la soudure. La rupture s'est produite **exactement au niveau de cette zone**, ce qui indique que la **soudure est moins résistante que le matériau de base** dans ce cas. Cette différence peut être liée à **des défauts internes** dans la soudure ou à une **altération des propriétés mécaniques** due à l'effet thermique du procédé TIG
- La courbe de contrainte de Von Mises confirme cette observation : les valeurs maximales sont atteintes dans la zone soudée, ce qui indique que la rupture s'est produite à cet endroit.
- En ce qui concerne la déformation élastique équivalente, la figure montre également une concentration importante dans la soudure, ce qui prouve que cette zone se déforme plus que le reste de l'éprouvette. La courbe de déformation suit une même tendance, avec des valeurs élevées localement.
- La figure des déplacements montre que le déplacement maximal se produit aussi près de la soudure, ce qui est cohérent avec la concentration des déformations et la localisation de la rupture.

Ces résultats indiquent clairement que, pour une épaisseur de 2,5 mm, la soudure TIG représente la zone la plus faible mécaniquement. Cela peut s'expliquer par :

- Des défauts internes dans la soudure (comme des porosités ou un manque de fusion),
- Ou une modification des propriétés du matériau due à la chaleur du procédé.

Ainsi, dans ce cas, la rupture de l'éprouvette au niveau de la soudure est attendue et cohérente avec les résultats de simulation.

tableau 4.2 : Comparaison entre les éprouvettes en aluminium 7075-T6 (2 mm et 2,5 mm)

Critère analysé	Éprouvette 2 mm	Éprouvette 2,5 mm
Zone de rupture	En dehors de la zone soudée	Au niveau de la soudure TIG
Contrainte de Von Mises	Pic de contrainte hors de la soudure	Contrainte maximale concentrée dans la soudure
Déformation élastique équivalente	Localisée dans la partie centrale non soudée	Déformation concentrée dans la soudure
Déplacements totaux	Répartition homogène, déplacement modéré	Déplacement maximal dans la soudure
Effet du procédé TIG sur 7075-T6	Faible impact visible (bonne tenue mécanique)	Dégradation locale des propriétés mécaniques
Interprétation globale	La soudure TIG est résistante ; rupture dans le matériau de base	La soudure est le point faible ; rupture à cause de la chaleur

Conclusion

L'aluminium 7075-T6 est très résistant mais peu adapté au soudage par fusion (comme le TIG), car la température élevée altère le traitement thermique (T6) et peut provoquer une perte de résistance dans la zone affectée thermiquement (ZAT). Cela explique pourquoi l'éprouvette de 2,5 mm, plus épaisse, a concentré les défauts dans la soudure.

CONCLUSIONS GENERALE

CONCLUSIONS GENERALE

Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés sur la soudure des alliages d'aluminium 7075 T6 par le procédé de soudage TIG.

La première partie de notre travail a montré qu'il est nécessaire de connaître le domaine de l'aluminium et surtout les alliages d'aluminium 7075 T6. Grace à ses différentes qualités mécaniques, ces alliages sont de plus en plus utilisés dans l'industrie.

La deuxième partie de notre travail a montré que ces alliages sont dans l'ensemble difficilement soudables car ils sont sujets aux problèmes de leurs caractéristiques mécaniques après soudage. Cependant, l'utilisation du procédé de soudage TIG peut améliorer certains de ces résultats.

Le soudage de notre alliage d'aluminium conduit à des changements de caractéristiques mécaniques.

Dans le but de contribuer à l'évaluation de la qualité de notre assemblage soudé, de caractériser l'interaction entre notre alliage et le procédé de soudage TIG, et de fournir des données quantitatives sur le comportement de cet assemblage soudé, nous avons utilisé durant notre travail un essai mécanique : Essai de traction. Cet essai a montré que certains paramètres (temps et température) ont un rôle important lors de l'application de cet essai et peuvent influencer sur la soudure.

Notre étude nous a permis :

D'identifier plusieurs zones de soudure : une zone loin du cordon de soudure non affectée par le soudage dont les caractéristiques sont les mêmes que celles du matériau de base, une zone proche du cordon de soudure et une zone intermédiaire. Il faut noter que cette soudure affecte uniquement la zone où la température a été la plus élevée au cours du cycle thermique du procédé de soudage,

L'essai de traction a permis de déterminer les caractéristiques mécaniques. Il a montré que ces caractéristiques peuvent être changées et peuvent être améliorés.

La **simulation numérique de l'essai mécaniques** constitue aujourd'hui une étape cruciale dans le processus de conception et d'optimisation des matériaux, ainsi que dans la validation des procédés de fabrication. Notre essai de traction se distingue comme l'un des moyens les plus couramment utilisés pour déterminer les propriétés mécaniques d'un matériau, telles que la limite d'élasticité, la résistance à la rupture ou encore l'allongement à la rupture.

CONCLUSIONS GENERALE

Dans ce contexte, la **méthode de dynamique explicite** proposée par le logiciel **ANSYS Workbench** représente un outil numérique particulièrement puissant et adapté. Elle permet de simuler avec une grande précision le comportement du matériau, en tenant compte de phénomènes complexes tels que les **grandes déformations**, la **vitesse élevée de chargement**, les **contacts non linéaires** entre les différentes parties du modèle, et même l'**endommagement progressif** du matériau. Un des résultats est que la contrainte équivalente de Von Mises montre une forte concentration des contraintes précisément au niveau de la soudure. La rupture s'est produite **exactement au niveau de cette zone**, ce qui indique que la **soudure est moins résistante que le matériau de base** dans ce cas. Cette différence peut être liée à **des défauts internes** dans la soudure ou à une **altération des propriétés mécaniques** due à l'effet thermique du procédé TIG. Ainsi, la rupture de l'éprouvette au niveau de la soudure est attendue et cohérente avec les résultats de simulation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1.] R.Develay, Propriétés de l'aluminium et des alliages d'aluminium corroyés, ENS d'électrochimie et d'électrometallurgie de Grenoble, 1996
- [2] B.Dubost and P.Sainfort, Techniques de l'Ingénieur, 1991
- [3] J.L.Fanchon, Guide de mécanique, Sciences et technologie industrielles, Edition Nathan, Paris, 2008
- [4] A.Dhooge, Techniques d'assemblage : le soudage ; Métallerie 65, spécial soudage, avril 2004
- [5] Rocardier, Cours de soudure TIG, cours technologie, 2009
- [6] R.Blondeau, Procédés et application industrielle du soudage, Hermès science publication, Paris, 2001
- [7] R.W.Messler Jr, Principes de soudage, Edition John Willey & Sons, New York, pp 50-55, 1999
- [8] D.François, Essais mécaniques des métaux Détermination des lois de comportement. Edition 2012

